

No title available.

Patent Number: DE4343704
Publication date: 1994-07-07
Inventor(s): KOOPMAN PHILIP J (US); BRAJCZEWSKI DAVID C (US)
Applicant(s): OTIS ELEVATOR CO (US)
Requested Patent: ☐ DE4343704
Application Number: DE19934343704 19931221
Priority Number(s): US19920992877 19921221; US19920992878 19921221; US19920992879 19921221
IPC Classification: H04L29/06 ; H04L7/04 ; H04L12/40 ; G06F13/42
EC Classification: H04L12/417
Equivalents: ☐ FR2699771, ☐ GB2274046, ☐ JP6318967

Abstract

If a transceiver has a message to send during an idle medium condition, it transmits a jam pattern onto the medium for a predetermined time (based on maximum network propagation delay). If a transceiver detects a jamming pattern, it inhibits its own transmissions and waits for the next slot progression. If multiple transceivers begin jamming within a propagation delay of each other (within the network vulnerable time), their jamming transmissions will not destructively interfere with each other. When jamming ceases, all transceivers begin a slot progression. Thus, the end of the jamming period when all transceivers have finished jamming serves as a network-wide synchronization for the start of bus master arbitration, a token

bus protocol or an implicit token slot progression.



Data supplied from the esp@cenet database - I2



⑬ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENTAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 43 43 704 A 1**

⑤① Int. Cl.⁵:
H 04 L 29/06
H 04 L 7/04
H 04 L 12/40
G 06 F 13/42

⑳ Aktenzeichen: P 43 43 704.4
㉑ Anmeldetag: 21. 12. 93
㉒ Offenlegungstag: 7. 7. 94

DE 43 43 704 A 1

③① Unionspriorität: ③② ③③ ③①
21.12.92 US 992877 21.12.92 US 992878
21.12.92 US 992879

⑦① Anmelder:
Otis Elevator Co., Farmington, Conn., US

⑦④ Vertreter:
Klunker, H., Dipl.-Ing. Dr.rer.nat.; Schmitt-Nilson, G.,
Dipl.-Ing. Dr.-Ing.; Hirsch, P., Dipl.-Ing.,
Pat.-Anwälte, 80797 München

⑦② Erfinder:
Koopman, Philip J., Hebron, Conn., US; Brajczewski,
David C., Vernon, Conn., US

⑤④ Mediumzugriffsprotokoll mit impliziten Zeichen ohne Kollisionserfassung

⑤⑦ Wenn ein Sendeempfänger während des Ruhezustands eines Kommunikationsmediums eine Nachricht zu senden hat, gibt er auf das Medium während einer vorbestimmten Zeit (abhängig von der maximalen Netzwerk-Signallaufzeit) ein Störsignalmuster. Erfasst ein Sendeempfänger ein Störsignalmuster, sperrt er seine eigenen Sendungen und wartet auf die nächste Schlitz-Weiterschaltung. Beginnen mehrere Sendeempfänger mit der Störung innerhalb einer Signallaufzeit zwischen ihnen (d. h., innerhalb der verletzbaren Zeit des Netzwerks), so sind diese Störsignalsendungen nicht gegenseitig destruktiv störend. Hört das Stören auf, beginnen sämtliche Sendeempfänger eine Schlitz-Weiterschaltung. Damit dient das Ende der Störzeitspanne, wenn sämtliche Sendeempfänger mit dem Stören aufgehört haben, als netzwerkweite Synchronisierung für den Start einer impliziten Zeichenschlitz-Weiterschaltung.

DE 43 43 704 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 05. 94 408 027/287

37/38

Beschreibung

Die Erfindung betrifft allgemein Rechnerkommunikationsprotokolle und insbesondere ein Mediumzugriffsschema, welches als Reservierungs-Trägerabtastungs-Mehrfachzugriff (Reservation Carrier Sense Multiple Access; RCSMA) bezeichnet wird.

Wenn mehrere Sendeempfänger versuchen, gleichzeitig ein Medium zu benutzen, so kollidieren die Sendungen, was zu verstümmelten Nachrichten und einem möglichen Datenverlust führt. Mediumzugriffssteuerungs-(MAC-)Protokolle dienen zum Entscheiden, welcher Sendeempfänger in dem Besitz eines Mediums zu irgendeiner gegebenen Zeit ist. Die Entscheidung ist ein Prozeß, mit dessen Hilfe einer von mehreren Empfängern, die Zugriff auf den Bus nehmen wollen, den Zugriff erhält. Der Untersatz von interessierenden MAC-Protokollen umfaßt solche Protokolle, die zur Realisierung von Ortsbereichsnetzwerken (LAN) dienen, welche ein gemeinsam benutztes (geteiltes) Sendemedium verwenden.

Die Ausdrücke "explizites Zeichen" und "implizites Zeichen" werden im folgenden häufiger verwendet. Explizite Zeichen sind aktuelle Nachrichten, die von Sendeempfänger zu Sendeempfänger laufen, während die Steuerung des Mediums weitergegeben wird. Der Besitz des Zeichens garantiert das alleinige Senderecht. Zeichenbesitz wird zur einem Sendeempfänger übergeben, indem eine Zeichennachricht gesendet wird. Implizite Zeichen sind Zeitschlitz, die bei ihrer Verwendung einen exklusiven Zugriff zu dem Medium garantieren. Sie sind implizit deshalb, weil keine reale Zeichennachricht existiert. Statt dessen trägt jeder Zeitschlitz auf dem Kommunikationsmedium in sich die Bedeutung einer Zeichen-Sendeempfänger-Zuordnung.

A. Protokollauswahl für Mediumzugriffssteuerung

1. Beispiel: Aufzuganlage

In dem Auswahlprozeß für das Kommunikationsprotokoll sollte eine Reihe von Faktoren berücksichtigt werden. Um einige dieser Faktoren zu veranschaulichen, mag als Beispiel eine Aufzuganlage dienen, in der ein verdrilltes Drahtpaar als gemeinsam benutztes Kommunikationsmedium dient.

Von weiterem Interesse sind Ortsbereichsnetzwerke, die bei eingebetteten oder Echtzeit-Steuerungsanwendungen eine Rolle spielen, welche vorhersagbare und/oder deterministische Systemantworten erfordern.

2. Zu berücksichtigende Faktoren bei der Auswahl des Mediumzugriffsprotokolls im Lichte des Standes der Technik

Erstens: In einigen Aufzuganlagen-Kommunikationssystemen sind Kollisionsdetektorschaltungen nicht praktikabel. Analog-Kollisionsdetektormethoden basieren auf annähernd gleichen Signalstärken der kollidierenden gesendeten Signale. In einem großen Gebäude jedoch werden über verdrillte Drähte gesendete Signale über 2000 Fuß (650 Meter) beträchtlich gedämpft, so daß Signalstärken von verschiedenen Sendeempfängerpaaren sehr ungleich sind.

Zweitens: Echtzeit-Ansprecherfordernisse der Aufzuganlagen zum Zweck der Sicherheit und der Regelungsstabilität erfordern sowohl vorhersagbare als auch beschränkte Nachrichtenübertragungslaufzeiten. Bei ei-

nigen Protokollen, beispielsweise bei dem sogenannten CSMA/CD, gibt es keine Gewährleistung dafür, daß eine beliebige Nachricht innerhalb eines beschränkten Zeitintervalls geliefert wird.

Drittens: Zahlreiche Protokolle gestatten keine deterministische Prioritätsbildung beim Netzwerkzugriff, wie es bei Aufzugregelschleifen und Sicherheitseinrichtungen erforderlich ist. CSMA/CD beispielsweise gibt keine Gewährleistung für einen Prioritätsdienst.

Viertens: Einige Protokolle (z. B. CSMA/CD) machen einen ineffizienten Gebrauch der Netzwerkbandbreite bei hoher Belastung. Existierende Aufzuganlagen besitzen häufig eine langsame Verdrahtung geringer Leistung, die effizient ausgenutzt werden muß, um die Ausgabe für die Installation neuer Hochgeschwindigkeits-Übertragungsmedien zu vermeiden.

Fünftens: Einige Protokolle, beispielsweise Protokolle auf der Basis expliziter Zeichen, sind durch Systemversagen verletzlich, wenn das Zeichen verloren geht oder dupliziert wird, und sie erholen sich von derartigen Ausfällen nur langsam. Eine Aufzugsteuerung erfordert eine rasche Wiederherstellung nach einem Versagen des Netzwerkprotokolls, um eine gezielte Steuerung der Bewegungsmaschinerie zu erreichen.

Sechstens: Wünschenswert ist es, daß das Erfordernis von Bestätigungen nicht mehr besteht, weil Mehrfach-Bestätigungs-Nachrichten Bandbreite besetzen. Deshalb steht das Fehlen einer Bestätigung nicht zur Verfügung als indirektes Mittel zum Feststellen von Kollisionen.

Siebtens: Aufzüge müssen in der Lage sein, bei einem Ausfall zu funktionieren, und sie dürfen deshalb nicht durch Verletzlichkeit einer einzigen Stelle ausfallen, wie es typisch ist für einen zentralen Kommunikationsmedium-Master.

Achtens: Einige Protokolle eignen sich nur für eine begrenzte Anzahl von Sendeempfängern. Beispielsweise werden Protokolle mit impliziten Zeichen ineffizient, wenn die Anzahl von Zeitschlitz für implizite Zeichen stark zunimmt, weil die Schlitzbreiten die Oszillator-Drifterscheinungen berücksichtigen müssen. Das Integrieren von gebäudeweit untergebrachten Sensoren und Aktuatoren (z. B. von Holrufknöpfen in jedem Geschoss) und anderen Gebäude-Diensten machen in hohem Maße die Fähigkeit interessant, die Anzahl von Sendeempfängern auf eine große Zahl auszuweiten.

B. Weitere Betrachtung des Standes der Technik

1. Synchrone TDM-Protokolle

In vielen Nachrichtenübertragungssystemen besteht der Bedarf an einer gelegentlichen Neusynchronisierung sämtlicher Sendeempfänger auf einen gemeinsamen Zeitpunkt. Ein Grund dafür, daß eine Synchronisation benötigt wird, ist der, daß der lokale Takt für jeden Sendeempfänger (der üblicherweise auf einem Kristalloszillator oder einer Widerstands-/Kondensator-Oszillatorschaltung beruht) mit einer etwas anderen Geschwindigkeit läuft als die lokalen Takte anderer Sendeempfänger. Faktoren, die zu einer solchen Takt-Drift beitragen, beinhalten Schwankungen bei der Bauelementfertigung, Alterungseffekte und Temperaturschwankungen.

Ein weiterer Grund für eine Neusynchronisation ist der, daß ein neu aktivierter Sendeempfänger (oder ein Sendeempfänger, der sich aus einem Fehlerzustand er-

holt hat) einem gerade unter anderen Sendeempfängern aktiven Kommunikationsprotokoll unter Verwendung des Kommunikationsmediums auch in Abwesenheit von Nachrichtenübertragungen beitreten kann.

Kommunikationsprotokolle, bei denen die Abwesenheit fortgesetzter Nachrichten einen Busruhezustand bedeutet, können die Nachrichten selbst als Neusynchronisations-Punkte benutzen. Allerdings sind einige Protokolle, insbesondere synchrone Zeitteilungs-Multiplex-(synchrone TDM-)Protokolle derart ausgelegt, daß sich die zu dem Sendeempfänger gehörige Zustandsmaschine über längere Zeitspannen in einem anderen Zustand als dem "Busruhezustand" befindet, wenngleich keine Nachrichten gesendet werden. Diese Protokolle, einschließlich der synchronen TDM-Protokolle, machen üblicherweise Gebrauch von expliziten Neusynchronisationssignalen, um die sich über die Zeit akkumulierende Taktsignal-Drift zwischen verschiedenen Sendeempfängern zu begrenzen.

Es gibt eine maximale Taktsignal-Drift, die man tolerieren kann, weil dennoch eine synchronisierte Übertragung und ein synchronisierter Empfang innerhalb eines Protokolls möglich ist. Wenn z. B. zwei Sendeempfänger Umlaufsendungen vornehmen, die lediglich auf Zeit basieren (im Gegensatz zu dem Erfassen anderer Sendungen) so muß zwischen aufeinanderfolgenden Sendungen eine Pufferzeit zugelassen werden, um die Taktsignal-Drift zu berücksichtigen. Die akkumulierte Taktsignal-Drift muß kleiner gehalten werden als diese Pufferzeit, um Kollisionen zu vermeiden und einen korrekten Betrieb zu gewährleisten. Ein guter Weg, dies zu erreichen, besteht in der Planung einer Neusynchronisation kurz bevor die akkumulierte Taktsignal-Drift den Toleranzbereich verläßt. Eine Möglichkeit, dies zu realisieren, besteht in der Ausführung der Neusynchronisation in feststehenden Intervallen (basierend auf der durch Analyse ermittelten schlechtesten Taktsignal-Drift) ungeachtet des verwendeten Protokolls.

Wenn das Protokoll ein eine feste Länge aufweisendes und mit Zeitscheiben arbeitendes synchrones TDM-Protokoll ist, so erfolgt eine Neusynchronisation beim Beginn jedes Senderahmens unter Verwendung eines Rahmen-Sync-Signals.

Das vielleicht direkteste Kommunikationsschema ist das synchrone Zeitmultiplex (synchrones TDM). Bei der traditionellen Master/Slave-Ausführung wird ein einziger Sendeempfänger als der Busmaster festgelegt. Dieser Busmaster fragt der Reihe nach jeden Sendeempfänger ab und gestattet jedem Sendeempfänger das Senden einer Nachricht bei Anfrage. Dieses System besitzt einen hohen Mehraufwand aufgrund der Abfragen Nachrichten und -antworten, die auch dann erzeugt werden müssen, wenn der ansprechende Sendeempfänger keine Nutznachrichten zu senden hat. Außerdem besitzt ein solches System ein offensichtliches Zuverlässigkeitsproblem, welches in dem einzigen Master liegt.

Es sind noch viel weiter entwickelte Versionen des synchronen TDM möglich. Beispielsweise kann ein einzelner Busmaster einfach eine Rahmensynchronisationsnachricht ("Rahmen-Sync") senden, um sämtlichen anderen Sendeempfängern zu gestatten, von diesem Rahmen-Sync aus eine einmalige Zeitverzögerung zu messen. Für gewöhnlich verwenden synchrone TDM-Protokolle einen einzelnen festgelegten Busmastersendeempfänger, um das Rahmen-Sync-Signal auszugeben. Dies weist offensichtliche Beschränkungen bezüglich der Zuverlässigkeit und der Festlegung des gemeinsamen Busmasters auf. Jeder Sendeempfänger kann dann

während seines eigenen Zeitfensters ("Zeitscheibe") nach dem Rahmen-Sync senden. In noch höher entwickelten Versionen tasten andere Sendeempfänger den Bus daraufhin ab, ob auf dem Bus irgendeine Aktivität vorhanden ist, um ungenutzte Zeitscheiben abzuschneiden.

Sämtliche synchronen TDM-Protokolle haben ein Problem damit, festzulegen, welcher Sendeempfänger der Busmaster ist. Entweder wird der Busmaster vorab festgelegt, oder es muß eine Entscheidung unter den Sendeempfängern derart erfolgen, daß ein Master bei der System-Initialisierung festgelegt wird. Synchrone TDM-Protokolle sehen keine Prioritätsnachrichten auf globaler Basis vor. Die Nachricht höchster Priorität in jeder Ausgangswarteschlange der Sendeempfänger muß auf die zu dem betreffenden Sendeempfänger gehörige Zeitscheibe warten.

2. Protokolle mit expliziten Zeichen:

Wie zuvor erwähnt, ist ein explizites Zeichen eine Nachricht, die von Sendeempfänger/Empfänger zum Sendeempfänger/Empfänger übergeben wird, wenn die Steuerung des Mediums übergeben wird. Bei aus dem Stand der Technik bekannten Protokollen mit expliziten Zeichen wird der anfängliche Zeichenhalter entweder als vorbestimmter Sendeempfänger in dem Netzwerk festgelegt (was zu Zuverlässigkeitsproblemen dann führt, wenn der vorbestimmte Sendeempfänger nicht funktioniert), oder er wird über ein möglicherweise langwieriges Entscheidungsverfahren, welches eine Kollisionserfassung beinhaltet, bestimmt.

3. Protokolle auf Konkurrenzbasis und mit Kollisionsvermeidung

Protokolle auf Konkurrenzbasis sind solche Protokolle, bei denen mehrere Sendeempfänger asynchron um den Zugriff auf das Kommunikationsmedium konkurrieren.

Ein einfaches Mediumzugriffsprotokoll für Ortsbereichsnetzwerke ist der Trägerabstastungs-Mehrfachzugriff (Carrier Sense Multiple Access; CSMA), wobei "Trägerabstastung" auf die Fähigkeit eines Sendeempfängers hinweist, Daten zu erkennen, die sich auf dem Kommunikationsmedium befinden. Wenn der Sendeempfänger eine abgehende Nachricht aufweist, so führt er zunächst eine Trägerabstastung durch, um zu sehen, ob das Medium belegt ist. Befindet sich das Medium im Ruhezustand, so sendet er eine Nachricht. Es sind Empfangs-Bestätigungen erforderlich, weil die Möglichkeit existiert, daß zwei Sendeempfänger praktisch gleichzeitig mit dem Senden beginnen (innerhalb einer Signallaufzeit über das Kommunikationsmedium, was als verletzbarer Zeitspanne bekannt ist), was zu einer Kollision und zu einem Datenverlust führen würde. Dieses Verfahren hat bei hoher Belastung geringe Leistungsfähigkeit und weist schlechte Echtzeit-Leistungskennwerte auf.

Eine Verbesserung gegenüber dem CSMA ist der Trägerabstastungs-Mehrfachzugriff mit Kollisionserfassung (Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection; CSMA/CD). Wenn zwei Sendeempfänger mit dem Senden auf das Medium innerhalb der verletzbaren Zeitspanne beginnen, so kann eine Kollisionsdetektor-schaltung die sich einstellenden Kollisionen feststellen, um die Datensendung seitens beider Sendeempfänger abzuschneiden.

Kollisionsvermeidungs-CSMA-Protokolle (CSMA/CA) verwenden nach jeder Kollision und Sendung Zeitschlitz zur Verringerung der Möglichkeit von nachfolgenden Kollisionen.

Eine Variante der CSMA/CA, die sich für eingebettete und Echtzeit-Steuerkommunikationen handelt, ist der Reservierungs-Trägerabstastungs-Mehrfachzugriff (Reservation Carrier Sense Multiple Access; RCSMA). RCSMA ist ein System mit impliziten Zeichen, bei dem es eine Sequenz von Zeitschlitz nach jeder gesendeten Nachricht gibt. Bei dem RCSMA ist ein Zeitschlitz jedem Sendeempfänger zugeordnet. Hat irgendein Sendeempfänger eine Nachricht zu senden, so wartet er auf seinen Schlitz (gemessen als für jeden Sendeempfänger eindeutige Zeitverzögerung nach dem Ende der vorhergehenden Nachricht). Wenn ein Sendeempfänger-Zeitschlitz auf dem Kommunikationsmedium verstreicht, kann der Sendeempfänger mit dem Senden einer Nachricht beginnen, wobei die Gewähr besteht, daß er der einzige aktive Sender ist (aufgrund der eins-zu-eins-Beziehung zwischen den Schlitz und den Sendeempfängern). Hat ein Sendeempfänger keine Nachricht zu senden, so bleibt er im Ruhezustand, und sein Zeitschlitz verstreicht, was den Start des nächsten Sendeempfänger-Zeitschlitzes ermöglicht. Die Schlitz werden als implizite Zeichen angesehen, weil das Bereitstellen von Daten während eines Schlitzes funktionell gesehen äquivalent mit dem Erwerb eines Zeichens für den Mediumzugriff ist. Aus dem Stand der Technik bekannte Weiterentwicklungen des RCSMA beinhalten das Zuordnen von Schlitz in unterschiedlichen Gruppierungen, um Prioritätspegel zu erreichen, außerdem das Implementieren einer "Schlitzrotation", bei der die Lage des Schlitzes sich auf der Grundlage des letzten aktiven Sendeempfängers ändert, um einen fairen Zugriff auf das Medium zu erreichen.

RCSMA-Schemata erfordern entweder die Implementierung einer Kollisionserfassung oder langsame Neubeginne nach Protokollfehlern. Außerdem leidet der RCSMA an einer Beschränkung der Anzahl bedienbarer Sendeempfänger, weil bei einem Anstieg der Anzahl von Sendeempfängern die Anzahl impliziter Zeichenschlitz zu groß wird, um in der Praxis handhabbar zu sein.

C. Neustart des Protokolls ausgehend von einem im Ruhezustand befindlichen Medium

Ein Teil der Auswahl eines Mediumzugriffsprotokolls besteht in der Auswahl eines Protokolls zum erneuten Starten des Protokolls auf einem im Ruhezustand befindlichen Netzwerk.

Bei dem RCSMA beginnen die Zeitschlitz impliziter Zeichen am Ende einer gesendeten Nachricht zu verstreichen. Es entsteht allerdings dann ein Problem, wenn keine Nachricht gesendet wird, so daß sämtliche Schlitz ungenutzt verstreichen. Die Frage ist, wie eine neue Schlitz-Fortsetzung bei Abwesenheit einer Nachricht eingeleitet wird. Im Stand der Technik kennt man hierzu vier Strategien.

D. Netzwerk-Neustart

1. Netzwerk-Neustart mit Entscheidung

Die Methode "Netzwerk-Neustart mit Entscheidung" für das RCSMA wird von Kiesel und Kuehn in IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Band

SAC-1, Nr. 5, November 1983, Seiten 869—876 vorge-tragen. Es wird hier auf dieses Verfahren als das Reservierungs-Trägerabstastungs-Mehrfachzugriffs-/Kollisionsdetektor-(RCSMA/CD-) Schema Bezug genommen.

Wenn das Netzwerk im Ruhezustand ist und ein Sendeempfänger eine Nachricht zu senden wünscht, beginnt der Sendeempfänger unmittelbar mit dem Senden von Daten, wie es beim CSMA/CD der Fall ist. Nach jeder Nachricht beginnen Schlitz von impliziten Zeichen. Gibt es eine Kollision, so hören die Sendeempfänger mit dem Senden auf, und es erfolgt eine Behandlung des Kollisionsereignisses äquivalent zu dem Ende einer Nachricht. Damit beginnt die Schlitz-Weiterschaltung nach einer Kollision, als ob gerade eine Nachricht ausgegeben worden wäre. Diese Methode behandelt speziell das Problem, was zu tun ist, wenn es keinen Netzwerkverkehr gibt, indem lediglich das Medium in den Ruhezustand gelassen wird und eine rasche Neustartmöglichkeit bereitgestellt wird. Die Kollisionserfassung ist für diese Ausgestaltung erforderlich, und dieses Verfahren überwindet nicht die praktische Beschränkung der Anzahl von Schlitz und damit der Anzahl von Sendeempfängern in dem Netzwerk. Es gibt eine praktische Grenze für die Anzahl von Schlitz deshalb, weil oberhalb einer gewissen Anzahl von Sendeempfängern die Takte der Sendeempfänger an einander entgegengesetzten Enden des Mediums derart außer Synchronisation sind, daß sie innerhalb desselben Schlitzes senden.

2. Einzelmaster

Ein "Einzelmaster" kann verwendet werden, um den Zeichenstrom periodisch neu zu starten. Eine Möglichkeit hierzu besteht darin, daß ein Master Rahmen-Synchronisationssignale abgibt, welche ein Weiterschalten von Schlitz für implizite Zeichen starten. Wenn sämtliche Schlitz verstrichen sind, ohne daß ein Senden auf dem Kommunikationsmedium stattfand, erzeugt der Master ein neues Rahmen-Synchronisationssignal, um ein erneutes Schlitz-Weiterschalten zu starten. Indem man von einem Einzelmaster Gebrauch macht, gibt es stets eine Quelle für periodische Neustarts (Rahmen-Synchronisationssignale).

Probleme bei der Verwendung eines Einzelmaster-Verfahrens sind folgende:

- a) Der Einzelmaster bildet einen singulären verletz-baren Ausfallpunkt innerhalb des Systems,
- b) bei dem Master handelt es sich um ein Extrabau-teil, welches von den anderen Knoten getrennt ist und separat ausgestaltet und gefertigt werden muß, und
- c) dieses Verfahren überwindet nicht die durch die Praxis gegebene Beschränkung der Anzahl von Schlitz und damit die Anzahl von Sendeempfängern in dem Netzwerk.

3. Rotierender Master

Ein "rotierender Master" wird vorgeschlagen in "Demand Assignment Multiple Access Schemes in Broadcast Bus Local Area Network", IEEE Transactions on Computers, Band C-33, Nr. 12, Dezember 1984, Seiten 1130—1159 von Michael Fine und Fouad Tobog. Dieses Verfahren verhindert, daß der Bus in den Ruhezustand gelangt, indem kontinuierlich Pseudonachrichten ausgegeben werden.

Allerdings gibt es Nachteile bei dem rotierenden-Master-Verfahren insofern, als das Verfahren ungeeignet ist für den hier als Beispiel dienenden Anwendungsfall einer Aufzugesanlage, und zwar aus folgenden Gründen:

- a) Der rotierende Master repräsentiert immer noch einen empfindlichen, singulären und verletzlichen Ausfallpunkt. Wenn der laufende Master versagen sollte, gibt er keine Pseudonachricht aus, und das Netzwerk geht in den Ruhezustand über; und
- b) dieses Verfahren überwindet nicht die praktische Beschränkung der Anzahl von Schlitten und deshalb die Anzahl von Sendeempfängern in dem Netzwerk.

4. Stabile Zeitbasis

Ein weiteres Verfahren zur Realisierung des RCSMA besteht darin, daß das System stabile Zeitbasen verwendet, auch bekannt als "Distributed Masters", um dadurch auf einen zentralen oder rotierenden Master verzichten zu können. Das DATAC-System-Chip, welches von der Firma National Semiconductor bereitgestellt wird, macht von diesem Verfahren zur Realisierung der synchronen TDM Gebrauch. Bei diesem Schema verwendet der Sendeempfänger eine stabile Zeitbasis, die über Zeitspannen, in denen das Netzwerk sich im Ruhezustand befindet, nicht nennenswert abdriftet (die stabile Zeitbasis wird in dem DATAC-Chip-Satz dadurch realisiert, daß anstelle eines einzigen Oszillators zwei gegenprüfte Oszillatoren verwendet werden). Nach jeder Nachricht wird eine Schlitz-Weiterschaltung eingeleitet. Wenn die Schlitz-Weiterschaltung ohne Netzwerk-Aktivität abgeschlossen ist, so wird automatisch ein neues Schlitz-Weiterschalten eingeleitet. In anderen Worten, Schlitz-Weiterschaltungen werden unendlich ohne Rahmen-Synchronisation wiederholt, solange das Netzwerk im Ruhezustand bleibt.

Die Master-Eigenschaft ist über sämtliche Sendeempfänger "verteilt". Es gibt mehrere Probleme bei dem Einsatz dieses Schemas bei Anwendungen in Aufzugesanlagen:

- a) Die Zeitbasen müssen, über Zeitspannen äußerst stabil sein, in denen das Netzwerk sich im Ruhezustand befindet. Bei der Ausführungsform von DATAC wird dieses Problem dadurch beherrscht, daß man teure redundante Oszillatoren einsetzt;
- b) ein Sendeempfänger, der den Gang des Protokollzustands über einen Übergangsfehler oder ein Reset verloren hat, kann nicht unmittelbar auf das Netzwerk zugreifen, während sich dies im Ruhezustand befindet, weil es keine Sendungen auf dem Netzwerk gibt, welche anzeigen könnten, wo sich im Verlauf der Zeitschlitz-Weiterschaltung die anderen Empfänger befinden;
- c) es bleiben System-Einschalt- und Reset-Probleme deshalb, weil der zu Beginn aktive Sendeempfänger ausgewählt werden muß. Bei dem System von DATAC wird ein unspezifiziertes Verfahren zur Kollisionserfassung bei der System-Initialisierung verwendet; und
- d) dies Verfahren überwindet nicht die praktische Begrenzung der Anzahl von Schlitten und deshalb der Anzahl von Sendeempfängern in dem Netzwerk.

Unsere neuen Protokolle eignen sich gut für eine ein-

gebettete Echtzeitsteuerung und vermeiden die wesentlichen Nachteile der obigen Protokolle: (a) einen singulären Ausfallpunkt und (b) die Notwendigkeit einer Kollisionserfassung.

- 5 Die Hauptaufgabe der vorliegenden Erfindung ist ein Mediumzugriffsprotokoll mit deterministischen (d. h. wiederholbaren) voraussagbaren und beschränkten Ansprechzeiten für Routine- und Prioritätsnachrichten, einen hocheffizienten Einsatz verfügbarer Kommunikationsmittel-Bandbreiten und eine schnelle Initialisierung und Erholung von vorübergehenden und dauernden Sendeempfänger-Ausfällen ohne das Erfordernis einer Kollisionserfassung oder einer Bit-Beherrschung.

Ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung ist ein mit impliziten Zeichen arbeitendes Mediumzugriffsprotokoll, welches eine Vielzahl von Sendeempfängern behandelt, denen individuelle Zeichenschlitze zugeordnet sind, ohne daß eine Kollisionserfassung erforderlich wäre. Dieses Ziel ist Grundlage für Mehrfachempfänger gleichen Prioritätsniveaus innerhalb einer Schlitz-Weiterschaltung. Eine Konsequenz aus dieser Schlitz-Teilungsfähigkeit ist eine signifikante Zunahme der Anzahl bedienbarer Sendeempfänger. Die vorliegende Erfindung beruht auf der Beobachtung, daß einige Kommunikationsprotokolle eine Kollisionserfassung durch eine Kollisionserfassungsschaltung beinhalten, gefolgt von dem Senden eines vorbestimmten, nicht-destruktiven störenden Stör- oder Stausignal (jam signal). Diese Verwendung eines Störsignals erleichtert die Kollisionsfeststellung unter mehreren Sendeempfängern deshalb, weil das Aussenden des Störsignals sämtliche Sendeempfänger darüber informiert, daß eine Kollision aufgetreten ist.

Die vorliegende Erfindung beruht weiterhin auf der Erkenntnis, daß die Synchronisation mehrerer Sendeempfänger erforderlich ist, um eine Sequenz von Ereignissen innerhalb eines Kommunikationsprotokolls für einen geteilten Mediumzugriff in Gang zu setzen. Eine Möglichkeit, dies zu erreichen, besteht darin, daß jeder Sendeempfänger, der die Einleitung der Sequenz von Ereignissen wünscht, eine Nachricht auf das Kommunikationsmedium gibt. Das Problem bei diesem Verfahren, wie es derzeit im Stand der Technik gehandhabt wird, besteht darin, daß dann Kollisionen stattfinden, wenn zwei Sendeempfänger solche Einleitungs-Nachrichten innerhalb der "verletzlichen Zeit" (die sich auf die Signallaufzeit bezieht) auf das Netzwerk gibt. Die Kollisionen verfälschen gesendete Daten und vermögen nicht, eine einzige Besitzerschaft des Kommunikationsmediums einzurichten. Außerdem ist das Erkennen derartiger Kollisionen unerwünscht.

Aus der ersten Vorgabe folgt, daß die vorliegende Erfindung ein Mittel zum Synchronisieren mehrerer Sendeempfänger an einem gemeinsam benutzten Kommunikationsmedium unter Verwendung eines "Stör"-Signals schafft, um auf diese Weise die Erfordernisse des Einsatzes einer Kollisionserfassung oder eines zentralisierten Busmasters zu umgehen. Als Konsequenz der zweiten genannten Vorgabe besteht eine Möglichkeit des Einsatzes einer derartigen Synchronisationsmethode darin, das Störsignal als besonderen Zeitpunkt einzusetzen, von welchem aus eine Schlitz-Fortschaltung für implizite Zeichen gestartet wird.

Erfindungsgemäß wird eine Kollision, also mehrere auf einen im Ruhezustand befindlichen Bus sendende Signale, angenommen, und es erfolgt der Zugriff auf einen im Ruhezustand befindlichen Bus bei einem Störmuster, bezüglich dessen Ende sämtliche Sendeempfän-

ger synchronisieren.

Im folgenden wird die Erfindung weiter erläutert. Ist das Kommunikationsmedium belegt, folgen dem Ende jeder Nachricht implizite Zeichenschlitze. Wenn eine Schlitz-Weiterschaltung abschließt, ohne daß Nachrichten gesendet werden, kann das Kommunikationsmedium in den Ruhezustand gelangen. Wenn erfindungsgemäß ein Sendeempfänger während des Ruhezustands des Mediums eine Nachricht zu senden hat, sendet er für eine vorbestimmte Zeitspanne (basierend auf der maximalen Netzwerk-Signallaufzeit) ein Störmuster auf das Medium. Wenn ein Sendeempfänger ein Störmuster erfäßt, sperrt er seine eigenen Sendevorgänge und wartet auf die nächste Schlitz-Weiterschaltung. Wenn mehrere Sendeempfänger innerhalb einer Signalverzögerungszeit untereinander (innerhalb der verletzbaren Zeitspanne des Netzwerks) mit dem Stören beginnen, so kommt es nicht zu einer destruktiven Störung der Störübertragungen untereinander. Hört das Störsignalsenden auf, so beginnt für sämtliche Sendeempfänger eine Schlitz-Weiterschaltung. Damit dient das Ende der Störsignalzeitspanne, wenn sämtliche Sendeempfänger mit dem Störsignalsenden aufgehört haben, als ein netzwerkumfassendes Synchronisationssignal für den Start einer Schlitz-Weiterschaltung für implizite Zeichen.

Weiterhin werden gemäß der vorliegenden Erfindung primäre implizite Zeichenschlitze (d. h., Zeichenschlitze im Anschluß an eine Nachricht oder ein zum Neustart der Netzwerkaktivität verwendetes Störsignal) von mehreren Sendeempfängern geteilt. Wenn ein Sendeempfänger, der einen gemeinsam benutzten Primärschlitz zugeordnet ist, Daten zu senden hat, so gibt er anstelle einer Nachricht in seinem Zeichenschlitz ein Störsignal aus. Dieses Störsignal dient als Synchronisation für eine zweite implizite Zeichenschlitz-Weiterschaltung, bei der lediglich solche Sendeempfänger partizipieren, welche den impliziten Zeichenschlitz der Primärstufe teilen.

Weiterhin synchronisiert gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung ein Bus-Störsignal periodisch sämtliche Sendeempfänger in einen synchronen Zeitmultiplexbetrieb.

Ein grundlegender Vorteil besteht darin, daß sämtliche Sendeempfänger in einem Netzwerk rasch synchronisiert bzw. in einen bekannten Zustand zurückgesetzt werden können, ohne daß eine zentralisierte Steuerung erfolgt, und ohne daß eine Kollisionserfassung oder eine Bit-Dominanz eingesetzt wird. Der Punkt, an welchem die Sendeempfänger exakt synchronisiert sind (innerhalb einer einzigen Signallaufzeit) ist derjenige Punkt, bei dem der letzte sendende Sendeempfänger aufhört, auf das Kommunikationsmedium ein Störsignal zu geben. Während dieser Synchronisationsmechanismus oben in Verbindung mit einem Protokoll für implizite Zeichen diskutiert wurde, ist er auch auf andere Protokollbereiche anwendbar, wie im folgenden gezeigt werden wird.

Einige weitere Vorteile der vorliegenden Erfindung sind:

- a) Kleine, deterministische zu begrenzte Latenzzeit für prioritätsbehaftete Nachrichten, einschließlich der Prioritätsvergabe auf Netzwerkebene (im Gegensatz zu der Prioritätsvergabe auf Sendeempfänger-Basis);
- b) begrenzter, deterministischer und fairer (z. B. Round-Robin) Zugriff für Routinenachrichten (im Gegensatz zu Prioritätsnachrichten);

- c) hocheffizienter Einsatz der Bandbreite des Kommunikationsmediums unter starker Belastung;
- d) rascher Neustart nach einem Ausfall in dem Protokoll; und
- e) größere mögliche Anzahl von Sendeempfängern als bei anderen System mit implizitem Zeichen, ohne lange Schlitz-Weiterschaltung durch Verwendung von Mehrpegel-Schlitz-Weiterschaltungen.

Im folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigt

Fig. 1 ein Blockdiagramm einer Mehrzahl von Sendeempfänger-/Empfänger-Knoten, die an ein gemeinsam benutztes (geteiltes) Kommunikationsmedium gekoppelt sind;

Fig. 2 ein endliches Zustandsdiagramm zum Synchronisieren mehrerer Sendeempfänger;

Fig. 3 ein endliches Zustandsdiagramm zur Realisierung des Betriebs eines synchronen Zeitmultiplex-Protokolls (TDM-Protokoll) ohne zentralen Busmaster;

Fig. 4 ein endliches Zustandsdiagramm zur Realisierung einer Busmaster-Entscheidung;

Fig. 5 ein endliches Zustandsdiagramm zur Realisierung eines Bus-Protokolls mit expliziten Zeichen, wobei eine anfängliche Busmaster-Entscheidung stattfindet;

Fig. 6 ein endliches Zustandsdiagramm für ein Reservations-CSMA-Mediumzugriffsprotokoll mit impliziten Zeichen bei festen Prioritäten, wobei der Bus nach jedem Sendevorgang in den Ruhezustand gelangt;

Fig. 7 ein endliches Zustandsdiagramm zur Realisierung einer mehrstufigen Busmaster-Entscheidung;

Fig. 8 ein endliches Zustandsdiagramm zur Realisierung des Betriebs eines Reservations-CSMA-Mediumzugriffsprotokolls mit impliziten Zeichen bei festen Prioritäten und mehrstufiger Entscheidung, wobei der Bus nach jedem Sendevorgang in den Ruhezustand gelangt;

Fig. 9 ein endliches Zustandsdiagramm zur Realisierung des Betriebs eines Reservations-CSMA-Mediumzugriffsprotokolls mit impliziten Zeichen bei festen Prioritäten, wobei der Busruhezustand vermieden wird, wenn noch Nachrichten zum Senden verbleiben;

Fig. 10 ein endliches Zustandsdiagramm zur Realisierung des Betriebs eines RCSMA-Mediumzugriffsprotokolls mit einer Kombination aus festen Prioritätsschlitzen und rotierenden Prioritäten; und

Fig. 11 ein endliches Zustandsdiagramm zur Realisierung des Betriebs eines RCSMA-Mediumzugriffsprotokolls mit sowohl festen Prioritäten als auch zwei Stufen einer Entscheidung mit rotierender Priorität.

Es wird an dieser Stelle verwiesen auf die parallelen US-Anmeldungen der Anmelderin mit dem Titel "Implicit Token Media Access Protocol with Multi-level Bus Arbitration" und "Synchronous Time Division Multiplexing Using Jam-based Frame Synchronization". Eine beispielhafte Einrichtung zum Senden und Empfangen ist hier dargestellt.

Netzwerktopologie (Fig. 1)

Das allgemeine Problem, mit welchem die vorliegende Erfindung befaßt ist, ist, wie ein einzelnes Kommunikationsmedium unter mehreren konkurrierenden Sendeempfängern zugeteilt wird.

Fig. 1 zeigt mehrere Sendeempfänger/Empfänger-Knoten, die an ein gemeinsam benutztes Kommunikationsmedium (der Kürze halber als "Bus" bezeichnet, ohne daß hierdurch eine Einschränkung unter Aus-

schluß anderer Formen von gemeinsam benutzten Kommunikationsmedien zu verstehen ist) gekoppelt sind. Zum Zwecke der Erläuterung der Erfindung soll jeder Sendeempfänger die Möglichkeit eines Empfängers haben (entweder eines individuell zugeordneten Empfängers oder eines gemeinsam benutzten Empfängers), welcher die Protokollaktivität auf dem Kommunikationsmedium überwacht. Der beispielhafte Anwendungsfall bei einer Aufzulanlagen-Nachrichtenanlage weist einen Sendeempfänger pro Kommunikationsknoten auf, verwendet ein verdrehtes Leiterpaar und verwendet einen einzelnen Strombetriebs-Transformator-koppler zum Senden oder zum Empfangen an jedem Knoten.

Allgemeine Synchronisation (Fig. 2)

Fig. 2 ist ein endliches Zustandsdiagramm zum Synchronisieren mehrerer Sendeempfänger, die an einen gemeinsamen Bus gekoppelt sind. Zur Realisierung dieses Zustandsdiagramm läßt sich irgendeine von zahlreichen bekannten Methoden einsetzen. Das gleiche gilt für die weiteren hier besprochenen Zustandsdiagramme (z. B. ist eine Realisierung mit Hilfe einer Mikrosteuerung möglich, die einen Mikroprozessor mit auf einem Chip ausgebildetem ROM zur Ausführung der Zustände des Zustandsdiagramms in Kombination mit Transformator-Kopplungs-Treiberchips und anderen Logikelementen zum Aufgeben von Signalen auf das verdrehte Leiterpaar möglich). Jeder Sendeempfänger beinhaltet eine Einrichtung zur Realisierung des Zustandsdiagramms; aus diesem Grund ist das jeweilige Zustandsdiagramm aus der Sicht eines einzelnen Sendeempfängers dargestellt. Das in Fig. 1 dargestellte Zustandsdiagramm arbeitet so, daß ein Untersatz von Sendeempfängern ein Störsignal (Jamming Signal) aussendet, welches von sämtlichen Empfängern empfangen wird, woraufhin sämtliche Sendeempfänger auf das Ende der zuletzt gestarteten Störsignalausendung wartet, um Synchronisation zu erreichen. Manchmal kommt es vor, daß das Senden eines Störsignals durch einen Untersatz sämtlicher Sendeempfänger anstatt durch einen einzigen oder alle erfolgt, was von der jeweiligen Situation abhängt.

Die Bedeutung des durch Fig. 2 beschriebenen Mechanismus besteht darin, daß dieser in der Lage ist, sämtliche Sendeempfänger an einem gemeinsam benutzten Kommunikationsmedium so zu synchronisieren, daß sie innerhalb einer Signallaufzeit liegen. Die Sendeempfänger sind synchronisiert, wenn sie sämtlich den Zustand "warten, bis alle Störer zu Ende sind" verlassen. Diese Synchronisation erfolgt sehr rasch (an dem Ende einer zwei Signallaufzeiten umfassenden Störsignalspanne) und läßt sich durch mehrere Sendeempfänger einleiten, ohne daß die Notwendigkeit einer Kollisions-erfassung besteht.

Betrieb vor Synchronisation

Der Sendeempfänger startet im Zustand "Betrieb vor Synchronisation". In diesem Zustand führt der Sendeempfänger irgendwelche Operationen aus, die er auch normalerweise ausführen würde, bevor das Erfordernis der Synchronisation mit anderen Sendeempfängern entsteht. Der Sendeempfänger geht in den Zustand "Stören des Busses" über, wenn der Sendeempfänger aus irgendeinem Grund eine Synchronisation mit anderen Sendeempfängern benötigt. Wird eine Busstörung (welche

weiter unten erläutert wird) festgestellt, so geht der Sendeempfänger über in den Zustand "warten, bis alle Störer zu Ende sind".

Es können mehr als ein Sendeempfänger aus dem Zustand "Betrieb vor Synchronisation" in den Zustand "Stören des Busses" übergehen. Diese Möglichkeit ist deshalb gegeben, weil es eine endliche Signallaufzeit über das Kommunikationsmedium gibt. Wenn ein Sendeempfänger mit dem Senden eines Störsignals auf den Bus beginnt, gehen sämtliche anderen Sendeempfänger in den Zustand "warten, bis alle Störer zu Ende sind" über, wenn sie das Störsignal empfangen. Wenn allerdings ein Sendeempfänger mit dem Senden des Störsignals beginnt, so ist es möglich, daß auch irgendein weiterer Sender in den Zustand "Stören des Busses" übergeht, und zwar in dem Intervall zwischen dem Zeitpunkt, zu dem das Senden des Störsignals gestartet wurde, und dem Zeitpunkt, zu dem das Störsignal die Empfänger der potentiellen zusätzlichen Störsender erreicht. Dieses Zeitintervall, in welchem mehrere Störsender möglicherweise aktiv werden, ist als "verletzbares Zeitspanne" oder dergleichen bekannt, und es entspricht der maximalen Signallaufzeit zwischen irgendeinem beliebigen Sendeempfänger und irgendeinem Empfänger an dem Kommunikationsmedium (wobei angenommen wird, daß die Verarbeitungszeit beim Empfänger vernachlässigbar ist). Es ist nicht möglich, daß ein Sendeempfänger mit dem Stören nach Verstreichen der verletzbaren Zeitspanne beginnt, weil sämtliche Sendeempfänger das Störsignal erfaßt haben und aus dem Zustand "Betrieb vor Synchronisation" übergegangen sind in den Zustand "warten, bis alle Störer zu Ende sind".

Stören des Busses

Hat erst ein Sendeempfänger den Übergang von "Betrieb vor Synchronisation" nach "Stören des Busses" gemacht, so beginnt der Sendeempfänger, ein Störsignal während einer vorbestimmten Zeit auf den Bus zu geben. Hier handelt es sich bei dem Störsignal (Jamming Signal) um einen vorbestimmten kontinuierlichen Spannungspegel (z. B. einen logischen Zustand EIN). Man beachte, daß dieses Störsignal die Eigenschaft hat, daß keine destruktive Wellenformüberlagerung stattfinden kann, während außerdem die Eigenschaft gegeben ist, daß das Signal erkannt werden kann, wenn ein Sendeempfänger oder wenn mehrere Sendeempfänger gleichzeitig das Signal geben; dies läßt sich z. B. dadurch erreichen, daß sämtliche Sendeempfänger Störsignale gleicher Polarität aufweisen. Hier dauert die Störsignals-Zeitspanne länger als zwei Signallaufzeiten. Dies deshalb, weil hierdurch gewährleistet wird, daß die potentiellen Signale von sämtlichen störenden Sendeempfängern (die hinsichtlich der Startzeit bis zu einer Signallaufzeit versetzt sein können) Zeit haben, sämtliche Empfänger zu erreichen (was eine zweite Signallaufzeit erfordert), bevor irgendeiner der Störer mit dem Senden des Störsignals aufhört. Diese kleinste Störsignal-Zeitspanne stellt sicher, daß das Stören als ein kontinuierliches Signal vom Start bis zu dem Ende bei sämtlichen Empfängern ohne durch versetzte Stör-Startzeiten verursachte Lücken empfangen wird.

Warten, bis alle Störer zu Ende sind

Wenn die Störzeitspanne eines Sendeempfängers verstrichen ist, so geht der Sendeempfänger aus dem

Zustand "Stören des Busses" in den Zustand "warten, bis alle Störer zu Ende sind" über. Da möglicherweise mehrere gleichzeitige Störer vorhanden sind, kann es sein, daß ein Sendeempfänger nicht der einzige Störer ist. Deshalb warten sämtliche Sendeempfänger, bis ihre jeweiligen Empfänger das Ende des kollektiven Störsignals im Zustand "warten, bis alle Störer zu Ende sind" erkennen (unabhängig davon, ob ihr eigener Sendeempfänger vorher ein Steuersignal gesendet hat oder nicht). Wenn das Ende des Störens festgestellt wird, gehen sämtliche Sendeempfänger aus dem Zustand "warten, bis alle Störer zu Ende sind" in den Zustand "Synchronisation erreicht" über.

Synchronisation erreicht

Wenn jeder Sendeempfänger in den Zustand "Synchronisation erreicht" übergegangen ist, so ist dabei gewährleistet, daß er den Zustand innerhalb einer Bus-Signallaufzeit sämtlicher anderer Sendeempfänger erreicht hat (wegen der Signallaufzeit des Endes des Störsignals von dem zuletzt aktiven störenden Sendeempfänger bis zu allen anderen Sendeempfängern).

Betrieb nach Synchronisation

Nachdem die Synchronisation von dem Sendeempfänger registriert worden ist, geht die Steuerung über zu irgendeiner anderen implementierungsspezifischen Aktivität im Zustand "Betrieb nach Synchronisation".

Vorteile dieses Protokolls gemäß Fig. 2 gegenüber anderen Synchronisationsverfahren sind:

- 1) Synchronisation wird erreicht, ohne jemals irgendeine Komponente als einen "Master" einzusetzen;
- 2) Synchronisation wird erreicht, ohne daß eine Entscheidung getroffen wird; und
- 3) Synchronisation wird erreicht, ohne daß eine Kollisionserfassung durchgeführt wird, obschon mehrere Sendeempfänger das Synchronisationsergebnis möglicherweise parallel erzeugen.

Synchroner Zeitmultiplexbetrieb (Fig. 3)

Fig. 3 ist ein endliches Zustandsdiagramm zur Realisierung eines verteilten synchronen Zeitmultiplex-Protokolls (TDM-Protokolls). Bei einem synchronen TDM-Protokoll wird sämtlichen Sendeempfängern in einzigartiger Weise eine Zeitscheibe innerhalb eines "Rahmens" zugeordnet. Jeder Sendeempfänger kann Nachrichten während und nur während seiner für ihn speziell zugeordneten Zeitscheibe senden.

Zeitscheiben unterscheiden sich von Zeitschlitten. Eine Zeitscheibe ist eine für das Aussenden einer Nachricht zugewiesene Zeit, die auf dem Bus verstreicht, sei sie durch einen Sendeempfänger genutzt oder nicht genutzt. Ein Zeitschlitz ist notwendigerweise lediglich lang genug, um anzuzeigen, ob ein Sendeempfänger ein implizites Zeichen benutzt, und er muß deshalb nicht so groß sein, daß eine Nachricht gesendet werden kann. Ein Zeitschlitz beträgt üblicherweise etwa die doppelte Signallaufzeit.

Start- und Endzeiten von Zeitscheiben werden bezüglich eines vorbestimmten Rahmen-Startsignals gemessen. Da verschiedene Sendeempfänger geringfügig unterschiedliche Taktfrequenzen haben können, wird zu Beginn jedes Rahmens ein neues Rahmensignal verwen-

det, um sämtliche Sendeempfänger mit einer gemeinsamen Zeitbasis synchronisiert zu halten.

Bei dem in Fig. 3 dargestellten Protokoll wird ein Bus-Störsignal von mehreren Sendeempfängern als ein Rahmen-Startsignal verwendet, ohne daß eine Entscheidung bezüglich eines einzelnen Busmasters erfolgt. Das Bus-Störsignal wird als eine Funktion einer bekannten, in einem Sendeempfänger gespeicherten Neusynchronisationszeit auf den Bus gegeben. Beispielsweise kann das Bus-Störsignal periodisch vorgesehen werden, wobei es sich bei der Neusynchronisationszeit um diejenige Zeit handelt, die sämtliche Sendeempfänger zum Senden von Nachrichten benötigen. Dies wird erreicht, indem das in Fig. 1 dargestellte Verfahren zur Erzielung der Synchronisation erweitert wird.

Für Fig. 3 gilt die folgende Schreibweise:

Es gibt N Sendeempfänger, die an den Bus gekoppelt sind (die nicht sämtlich in Betrieb oder aktiv sein müssen). Es gibt N Zeitscheiben innerhalb jedes Rahmens. N ist die Anzahl von Sendeempfängern an dem Bus.

Jedem Sendeempfänger ist eine einmalige Zahl M zwischen 0 und N-1 einschließlich zugeordnet, entsprechend seiner einmaligen Sendeempfänger-ID-Zahl. Dem Sendeempfänger M ist die M-te Zeitscheibe (wobei die erste Zeitscheibe die Scheibe Nr. 0 ist) innerhalb jedes synchronen TDM-Rahmens zugeordnet.

Neusynchronisation

Der Zustand "Neusynchronisation" entspricht dem Zustand "Betrieb vor Synchronisation" in Fig. 2.

Der Zustand "Neusynchronisation" wird dadurch erreicht, daß der endliche Zustandsmechanismus entsprechend dem Zustandsdiagramm (dieser Mechanismus wird im folgenden auch als FSM abgekürzt) zurückgesetzt wird, beispielsweise dadurch, daß die Netzspannung eingeschaltet wird. Dieser Zustand wird auch dann erreicht, wenn die FSM einen unzulässigen Zustand, ein unerwartetes Signal oder einen Fehlerzustand feststellt.

Wenn ein Sendeempfänger den Zustand "Neusynchronisation" erreicht, so muß er bestimmen, ob andere Sendeempfänger auf dem Bus aktiv sind. Er tut dies dadurch, daß er eine Ruhezeitspanne wartet (d. h. eine Zeit, während der kein anderer Sendeempfänger ein Signal irgendeiner Art auf den Bus gibt), wobei diese Ruhezeitspanne der längsten Zeit zwischen den Rahmen-Startsignalen (d. h. den Busstörungen) entspricht. Diese Zeit ist gleich der Gesamtzeit für sämtliche Zeitscheiben in dem System, zuzüglich die Rahmenlückenzeit, zuzüglich eine Signal-Laufzeit. Wenn keine Busstörungen innerhalb dieses Intervalls festgestellt werden, so müssen entweder alle anderen Sendeempfänger in irgendeiner Weise deaktiviert sein (z. B. durch Netzabschaltung), oder sie müssen sich ebenfalls im Zustand "Neusynchronisation" befinden so daß der Sendeempfänger zum Einleiten eines neuen Rahmens in den Zustand "Stören des Busses" übergeht.

Wenn während des Zustands "Neusynchronisation" eine Busstörung festgestellt wird, so geht der Sendeempfänger in den Zustand "Warten, bis alle Störer zu Ende sind" über.

Stören des Busses

Dieser Zustand ist identisch mit demjenigen nach Fig. 2.

Warten, bis alle Störer zu Ende sind

Dieser Zustand ist identisch mit demjenigen in Fig. 2.

Rahmenlücke

Nachdem das Senden des Störsignals beendet ist, ermöglichen sämtliche Sendeempfänger das Verstreichen einer Rahmen-Lücken-Zeitspanne. Es handelt sich hierbei um eine kurze Zeitspanne, die erforderlich ist für gewisse Busankoppelverfahren (z. B. das Strombetriebs-Transformatorankoppeln), um Energie abzuleiten, die sich während des Übertragungsvorgangs seitens der Busankoppeleinrichtung angesammelt hat. Bei anderen Sender-Implementierungen kann eine Rahmenlücke mit einer Null-Länge akzeptierbar sein.

Warten auf M-te Scheibe

Nach der Rahmenlücke kann jeder Sendeempfänger während der ihm zugewiesenen Zeitscheibe senden. Jeder Sendeempfänger wartet auf die M-te Zeitscheibe, um zu beginnen, wobei M die für den Sendeempfänger spezifische Zahl zwischen 0 und N-1 ist). Sind m Zeitscheiben-Zeitspannen vorbei, geht der Sendeempfänger in den Zustand "Senden Nachricht" über.

Senden Nachricht

Ist erst die m-te Zeitscheibe gestartet, so kann der Sendeempfänger mit dem Senden mehrerer Nachrichten beginnen. Hier hört jeder Sendeempfänger mit dem Senden auf, bevor seine Zeitscheibe vorbei ist, und zwar um eine Zeitspanne, die hier als Pufferzeit bezeichnet werden soll. Das Belassen einer Pufferzeit am Ende der Zeitscheibe gleicht eine gewisse Verzerrungszeit (verursacht durch die Synchronisations-Signalverzögerung und Drift, verursacht durch ungleichmäßige Zeitquellen) zwischen verschiedenen Sendeempfängern aus, um Kollisionen zu vermeiden, und die Pufferzeit ermöglicht eine Lücke nach dem Senden, so daß Energie aus dem aktiven Sendeempfänger abgeleitet werden kann, wie es oben unter dem Kapitel "Rahmenlücke" diskutiert ist. Hier entspricht die Pufferzeit der Summe von zwei Bus-Signallaufzeiten zuzüglich einer Rahmenlücke zuzüglich dem ungünstigsten Fall einer Taktsignal-Drift über die Länge eines Round-Robin-Senderrahmens.

Wenn der Sendeempfänger keine Nachrichten zu senden hat, bleibt er im Ruhezustand, allerdings während der Dauer seiner Zeitscheibe im Zustand "Senden Nachricht". Wenn er Nachrichten zu senden hat, die kürzer als die Dauer seiner Zeitscheibe sind, so sendet er die Nachrichten und bleibt dann solange im Zustand "Senden Nachricht", bis die Zeitscheibe zu Ende ist.

Wenn die Zeitbasis des hier diskutierten FSM ausreichend langsamer ist als andere Zeitbasen, und der FSM dem letzten Zeitschlitz zugeordnet ist, so erfaßt der FSM eine Busstörung, während er sich noch im Zustand "Senden Nachricht" befindet (während der Pufferzeit, nicht jedoch während einer aktiven Sendephase). Wenn dies geschieht, geht der FSM über in den Zustand "Warten, bis alle Störer zu Ende sind", um eine Neusynchronisation mit anderen Sendeempfängern zu erreichen.

Warten auf den Rest der Scheiben

Nachdem die Zeitscheibe eines Sendeempfängers vorbei ist, geht das Zustandsdiagramm in den Zustand

"Warten auf den Rest der Scheiben" über. In diesem Zustand wartet es auf zusätzliche N-M-1 verstrichene Zeitscheiben. Am Ende dieser Zeit sind sämtliche N-Zeitscheiben verstrichen, und es ist Zeit für eine neue Rahmensynchronisation, und deshalb geht der Sendeempfänger über in den Zustand "Stören des Busses".

Wenn die Zeitbasis für den betrachteten Sendeempfänger ausreichend langsamer als andere Zeitbasen ist, wird der Sendeempfänger eine Busstörung feststellen, während er sich noch in dem Zustand "Stören des Busses" befindet. Wenn dies geschieht, geht der Sendeempfänger in den Zustand "Warten, bis alle Störer zu Ende sind" über, um sich mit anderen Sendern neu zu synchronisieren. In einem angemessen ausgelegten System steht ausreichend Ruhezeit am Ende jeder Zeitscheibe dafür zur Verfügung, daß der höchstzahlige Sendeempfänger (N-1) mit seiner aktuellen Sendung fertig ist, bevor irgendein Sendeempfänger in den Zustand "Stören des Busses" übergeht (wobei die ungünstigste Zeitsteuer-Drift und Verzerrung berücksichtigt ist). Damit handelt es sich bei der Ruhezeit für jede Zeitscheibe um einen Entwurfsparameter, welcher so eingestellt werden kann, daß bei der Implementierung Stabilität-Spezifikationen für die Zeitbasis berücksichtigt sind.

Dem Fachmann ist klar, daß jedem Sender mehr als eine Zeitscheibe zugeordnet werden kann, um einen Belastungsausgleich herbeizuführen.

Beispielsweise könnten einem einzelnen Sender zwei Zeitscheiben dann zugeordnet werden, wenn dieser Sender im Durchschnitt doppelt so viel Nachrichten zu senden hätte wie andere Sender.

Außerdem ist es dem Fachmann klar, daß die Zeitscheibenkompression eingesetzt werden kann (wie in dem oben angesprochenen Protokoll von DATAC). Dieses Verfahren sieht vor, daß dann, wenn eine Zeitscheibe für eine vorbestimmte Zeitspanne, die kürzer als die Zeitspanne der gesamten Zeitscheibe ist, ungenutzt verstreicht, sämtliche Sendeempfänger automatisch zur nächsten Zeitscheibe weiterschreiten, ohne daß irgendeine Signalübertragung erfolgt. In diesem Fall erscheint das Rahmensignal bei einer sich ändernden Zeitspanne, jedoch immer noch zu Beginn jedes neuen Rahmens, wobei die sich ändernde Zeitspanne davon abhängt, wieviel tatsächliche Nachrichten gesendet worden sind. Die Synchronisation könnte für einen oder mehrere Zeitscheibenumläufe nach Maßgabe vorbestimmter Regeln übersprungen werden (basierend auf Erwartungswerten einer ungünstigsten Takt-Drift).

Vorteile dieses Protokolls nach Fig. 3 gegenüber den synchronen TDN-Protokollen sind:

- 1) Es ist nicht nötig, einen Busmaster irgendeiner Art auszuwählen;
- 2) Akkumulierte Zeitsteuer-Drifterscheinungen und Verzerrungen werden reduziert auf eine Bus-Signallaufzeit zu Beginn jedes Rahmens.

Busmaster-Entscheidung (Fig. 4)

Fig. 4 ist ein endliches Zustandsdiagramm für die Busmaster-Entscheidung. Jeder Sendeempfänger enthält eine Realisierungsanordnung für das endliche Zustandsdiagramm (SST). Deshalb hat das Zustandsdiagramm hier eine Form aus der Sicht eines einzelnen Sendeempfängers.

Die Wichtigkeit des durch Fig. 4 beschriebenen Mechanismus besteht darin, daß der Mechanismus die Synchronisationsfähigkeit gemäß Fig. 2 dazu verwendet, ei-

nen einzigen Besitzer eines gemeinsam benutzten Busses festzulegen, ohne daß ein vorbestimmter Busmaster, eine Kollisionserfassung oder eine Bit-Dominanz notwendig sind. Dies erfolgt beim Zustand "Rahmenlücke", der dem Zustand "Warten, bis alle Störer zu Ende sind" folgt, weil das Ende des letzten Störsignals das Synchronisationsereignis ist. An diese Synchronisation schließt sich eine Schlitz-Weiterschaltung für implizite Zeichen an, bei der jeder Schlitz eine Dauer aufweist, die proportional zu der Anzahl von Sendeempfängern ist, unter denen eine Entscheidung fällt.

Die folgende Schreibweise bezieht sich auf Fig. 4:

Es gibt N Sendeempfänger, die an den Bus gekoppelt sind (von denen aber nicht alle unbedingt in Betrieb oder aktiv sind). Für eine Entscheidung herangezogen werden N implizite Zeichenschlitze.

Jedem Sendeempfänger wird eine eindeutige Zahl M zwischen 0 und N-1 einschließlich zugeordnet, entsprechend seiner jeweiligen speziellen Sendeempfänger-ID-Nummer. Dem Sendeempfänger M wird die M-te Zeichenschlitzposition zugeordnet, wobei der Zeichenschlitz 0 in der Reihe ist.

Neusynchronisierung

Der Zustand "Neusynchronisierung" entspricht dem Zustand "Neusynchronisierung" in Fig. 3. Der einzige Unterschied ist der, daß die "maximale Ruhezeitspanne" vorbestimmt wird, indem das Implementierungsprotokoll mit dem Busmaster-Entscheidungsverfahren eingesetzt wird, wobei es sich notwendigerweise lediglich um die Anzahl von TDM-Zeitscheiben zuzüglich der Rahmenlücke handelt.

Stören des Busses

Dieser Zustand ist identisch mit dem nach Fig. 3.

Warten, bis alle Störer zu Ende sind

Dieser Zustand ist identisch mit dem nach Fig. 3.

Rahmenlücke

Dieser Zustand ist identisch mit dem nach Fig. 3.

Warten auf M-te Scheibe

Nach der Rahmenlücke wartet jeder Sendeempfänger auf seinen Zeitschlitz für implizite Zeichen. Wenn der M-te Schlitz für implizite Zeichen beginnt (wobei M die spezielle Sendeempfänger-Nummer zwischen 0 und N-1 ist), gehen die Sendeempfänger in den Zustand "Senden Nachricht über Busbesitz" über. Wenn der Sendeempfänger eine Busbesitz-Nachricht von irgendeinem anderen Sendeempfänger feststellt, geht der Sendeempfänger in den Zustand "Nicht der Busmaster" über.

Nicht der Busmaster

Wenn das FSD (das endliche Zustandsdiagramm) den Zustand "Nicht der Busmaster" erreicht, so hat irgendein anderer Sendeempfänger die Busvorherrschaft übernommen, bevor der derzeitige Schlitz für das implizite Zeichen des FSM verfügbar war. Deshalb besitzt dieses FSD nicht seinen eigenen Bus.

Senden Nachricht über Busbesitz

Wenn der FSM den Zustand "Senden Nachricht über Busbesitz" erreicht, so ist er der erste Sendeempfänger, der die Verfügbarkeit eines impliziten Zeichenschlitzes erkennt (entweder weil ein Wert M dem Wert 0 entspricht, oder weil niedrigere Werte von M nicht in Funktion sind oder in dem Kommunikationsnetzwerk nicht installiert sind). Deshalb sendet dieser FSM eine vorbestimmte Busbesitznachricht als Rundspruch zu sämtlichen anderen Knoten, wonach er den Bus besitzt. Wenn der Sendevorgang beendet ist, geht der FSM in den Zustand "Sendeempfänger ist Busmaster" über.

Sendeempfänger ist Busmaster

Wenn das FSD den Zustand "Sendeempfänger ist Busmaster" erreicht, so ist der betreffende Sendeempfänger der Busmaster und kann ohne Gefahr einer Kollision seitens anderer Sendeempfänger mit dem Senden beginnen.

Vorteile dieses Entscheidungsverfahrens gemäß Fig. 4 gegenüber anderen Verfahren von Busmaster-Entscheidungen sind:

- 1) Ein Busmaster wird unter allen aktiven Sendeempfängern ausgewählt, ohne daß ein vorbestimmter Anfangs-Busmaster vorhanden ist;
- 2) Die Busmaster-Entscheidung folgt einer vorbestimmten Prioritätensetzung;
- 3) Die Busmaster-Entscheidung erfolgt in einer vorbestimmten Zeitspanne — eine Funktion des Zeitschlitzes und der Anzahl von Schlitzen; und
- 4) Die Busmaster-Auswahl erfolgt ohne Kollisionen.

Busprotokoll für explizite Zeichen (Fig. 5)

Fig. 5 zeigt ein endliches Zustandsdiagramm zur Realisierung eines Busprotokolls für endliche Zeichen mit einer anfänglichen Busmaster-Entscheidung. Ungleich dem Zustandsdiagramm nach Fig. 4, welches für ein Protokoll mit impliziten Zeichen gilt und deshalb eine Entscheidung eines Busmasters jedesmal dann erforderlich macht, wenn auf einen im Ruhezustand befindlichen Bus zugegriffen wird, erfordert das Zustandsdiagramm (FSD) nach Fig. 5 nur beim Anfahren eine Entscheidung über einen Busmaster. Von dem Zeitpunkt an ist der Busmaster als der Besitzer des expliziten Zeichens bekannt.

Jeder Sendeempfänger enthält eine Realisierung des in Fig. 5 dargestellten Zustandsdiagramms, und deshalb gilt das Zustandsdiagramm für die Sicht seitens eines einzelnen Sendeempfängers.

Die Bedeutung des durch das Zustandsdiagramm (FSD) nach Fig. 5 beschriebenen Zustandsmechanismus (FSM) besteht darin, daß dieser die Synchronisationsmöglichkeiten des FSM nach Fig. 4 dazu benutzt, ein Busprotokoll mit expliziten Zeichen bei rascher Entscheidung (da keine Kollisionserfassung erfolgt) eines einzigartigen Anfangs-Zeichenhalters realisiert, ohne daß die Notwendigkeit einer Kollisionserfassung oder für einen vorbestimmten Anfangs-Zeichenhalter besteht. Die Sendeempfänger sind synchronisiert, wenn der Zustand "Warten, bis alle Störer zu Ende sind" nach dem Ende des letzten Störsignals das Synchronisierungsereignis ist.

Die Schreibweise gemäß Fig. 4 gilt auch für Fig. 5.

Jeder Sendeempfänger besitzt eine lokal gespeicherte Variable, die als NEXT_ID bezeichnet wird und den ID-Wert für den nächsten Sendeempfänger (nach dem laufenden Zustandsdiagramm) in der Zeichen-Weitergabefolge speichert.

Neusynchronisierung

Der Zustand "Neusynchronisierung" entspricht dem in Fig. 4 gezeigten Zustand "Neusynchronisierung". Der einzige Unterschied besteht darin, daß das Protokoll für das explizite Zeichen nach jeder Nachricht eine kurze Zeit, nämlich eine Knotenzulassungszeitspanne vorsieht, während der ein Störsignal ausgegeben werden kann, damit ein neuer zurückgesetzter Sendeempfänger Zugang zu der Zeichenweitergabefolge erlangen kann. Die Knotenzugangszeitspanne ist kürzer als die maximale Ruhezeitspanne und ist proportional zu einem Zeitschlitz.

Stören des Busses

Dieser Zustand ist identisch dem entsprechenden Zustand in Fig. 4.

Warten, bis alle Störer zu Ende sind

Dieser Zustand ist mit dem entsprechenden Zustand nach Fig. 4 identisch.

Rahmenlücke

Dieser Zustand ist der gleiche wie der entsprechende Zustand in Fig. 4.

Warten auf den M-ten Schlitz

Dieser Zustand ist identisch dem entsprechenden Zustand nach Fig. 4.

Nicht der Busmaster

Dieser Zustand entspricht dem in Fig. 4 dargestellten Zustand "Nicht der Busmaster". In diesem Zustand wartet der Sendeempfänger auf den Empfang eines expliziten Zeichens, welches ihm von einem anderen Sendeempfänger durchgegeben wird, bevor ein Übergang nach "Senden Nachrichten" erfolgt, wenn die Nachricht über den Busbesitz von dem Sendeempfänger empfangen wird.

Senden Nachricht über Busbesitz

Dieser Zustand ist der gleiche wie der entsprechende Zustand in Fig. 4, mit der Ausnahme, daß nach dem einmaligen Senden der Nachricht das Zustandsdiagramm nach "Senden Nachrichten" übergeht.

Senden Nachrichten

Hat der Sendeempfänger einmal festgestellt, daß er den Bus besitzt (entweder von dem Zustand "Senden Nachricht über Busbesitz" oder bei Empfang eines Zeichens), so beginnt er mit dem Senden von Nachrichten. Hat der Sendeempfänger die Sendung beendet, so geht er in den Zustand "Durchreichen des Zeichens" über.

Durchreichen des Zeichens

Ist es erst einmal der Sendeempfänger bereit, auf die Steuerung des Busses zu verzichten, so sendet er eine 5 Weitergabefolge eines expliziten Zeichens an den nächsten Sendeempfänger innerhalb der Rotation für explizite Zeichen. Hier erfolgt die Bestimmung des nächsten Sendeempfängers wie folgt:

Der Sendeempfänger sendet eine Nachricht an einen 10 Sendeempfänger, der gekennzeichnet ist durch den lokalen Wert von NEXT_ID (zu Beginn auf $M+1$ (Modulo N) eingestellt). Wenn eine Antwort empfangen wird, geht er in den Zustand "Nicht der Busmaster" über. Wird nach einer vorbestimmten Antwortzeitgrenze 15 keine Antwort empfangen, so erhöht er auf die nächste Sendeempfänger-Nummer (Modulo N) und macht einen erneuten Versuch. Dieses Erhöhen wird solange fortgesetzt, bis eine Antwort empfangen wird. Ist eine Antwort empfangen, so wird die Nummer des Antwortenden in einem Speicher als der neue lokale Wert von NEXT_ID gespeichert. 20

Vorteile dieses Protokolls nach Fig. 5 über anderen Verfahren mit explizitem Protokoll sind diejenigen, die auch die Ausführungsform nach Fig. 4 aufweist, wobei 25 ein zusätzlicher Vorteil jedoch darin besteht, daß jeder Sendeempfänger dadurch Zugang zu dem Netzwerkprotokoll erlangen kann, daß während einer geeigneten Zeit ein Steuersignal erzeugt wird, welches eine Neukonfiguration des Netzwerks zur Folge hat. 30

Reservations-CSMA-Protokoll (Fig. 6)

Fig. 6 ist ein endliches Zustandsdiagramm für ein Mediumzugriffsprotokoll, das als Reservations-CSMA mit implizitem Zeichen bezeichnet wird und feste Prioritäten hat. Nach jeder Sendung stellt das Protokoll den Bus auf den Ruhezustand ein. Jeder Sendeempfänger erhält eine Realisierung des Zustandsdiagramms. Deshalb ist das Zustandsdiagramm aus der Sicht eines einzelnen 35 Sendeempfängers zu betrachten.

Bei anderen aus dem Stand der Technik bekannten RCSMA-Protokollen ist der Zustand "Busruhezustand" entweder eine (a) Fehlersituation, die einen durch irgendeinen zentralen Master eingeleiteten System-Neustart erforderlich macht (d. h., der Busruhezustand wird im normalen Betrieb vermieden), oder (b) es wird eine Kollisionsdetektorschaltung erforderlich, um den Fall korrekt zu behandeln, daß mehrere Sendeempfänger innerhalb der verletzlichen Zeitspanne während des 40 Busruhezustands auf den Bus zugreifen.

Die Bedeutung des in Fig. 6 dargestellten Mechanismus besteht darin, daß dieser die Synchronisationsmöglichkeit gemäß Fig. 4 dazu benutzt, das RCSMA-Busprotokoll ohne das Erfordernis einer Kollisionserfassung und ohne einen Weg, die Schlitz-Weiterschaltungen aktiv zu halten, um den Busruhezustand durch Neustarten der Störungs- und Schlitz-Weiterschaltfolge für jede Nachricht neu zu starten, zu realisieren. Man nennt dies einen sogenannten Neustart pro Nachricht. Die 45 Sendeempfänger sind mit dem Zustand "Warten, bis alle Störer zu Ende sind" synchronisiert, weil das letzte Störsignal das Synchronisationsereignis ist.

Das dargestellte Zustandsdiagramm realisiert eine Übertragung mit fester Priorität dadurch, daß ein Sendeempfänger jedem impliziten Zeichenschlitz zugeordnet wird. Dem Fachmann sollte klar sein, daß die Schlitzze auch durch einen Nachrichtentyp oder durch andere Kriterien zugeordnet werden können, solange der Sy- 65

stembetrieb gewährleistet, daß nicht gleichzeitig zwei Sendeempfänger demselben Schlitz zugeordnet werden.

Die Schreibweise nach Fig. 4 findet Anwendung bei Fig. 6.

Neusynchronisierung

Der Zustand "Neusynchronisierung" entspricht dem Zustand "Neusynchronisierung" in Fig. 4. Der einzige Unterschied ist der, daß die maximale Ruhezustandsperiode speziell mit "N Zeitschlitz + Rahmenlücke" bezeichnet ist, wobei es sich um die maximale Zeitspanne handelt, während der keine Übertragungen über den Bus bei einem Nicht-Busruhezustand erfolgen können. Wenn der Bus für eine solange Zeitspanne im Ruhezustand war, macht der Zustandsmechanismus einen Übergang nach "Busruhezustand" und wartet, bis irgendein Sendeempfänger eine Nachricht zu senden hat.

Busruhezustand

Wenn keine Nachrichten zu senden sind, bleibt das Zustandsdiagramm im Zustand "Busruhezustand". Hat der Zustandsmechanismus eine Nachricht zu übertragen, so geht er über in den Zustand "Stören des Busses". Wenn er eine Busstörung feststellt, geht er über in den Zustand "Warten, bis alle Störer zu Ende sind".

Stören des Busses

Dieser Zustand ist mit demjenigen nach Fig. 4 identisch.

Warten, bis alle Störer zu Ende sind

Dieser Zustand ist mit demjenigen nach Fig. 4 identisch.

Rahmenlücke

Dieser Zustand ist mit demjenigen nach Fig. 4 identisch.

Warten auf M-ten Schlitz

Dieser Zustand ist mit demjenigen nach Fig. 4 identisch.

Nachricht sendefertig?

Dies ist ein verzögerungsfreier Entscheidungszustand, währenddessen das Zustandsdiagramm seinen Sendepuffer prüft, um festzustellen, ob irgendwelche Nachrichten auf ein Absenden warten. Falls ja, geht das Zustandsdiagramm in den Zustand "Senden Nachricht" über. Ansonsten geht das Diagramm über in den Zustand "Warten auf Rest der Schlitz".

Senden Nachrichten

Auf den Eintritt in diesen Zustand hin, nimmt das Zustandsdiagramm den Bus durch Senden einer Nachricht in Beschlag. Diese Busaktivität informiert implizit sämtliche anderen Sendeempfänger des Zustandsdiagramms an dem Bus darüber, daß ein implizites Zeichen genommen wurde, was sie veranlaßt, in den Zustand "Bus belegt" überzugehen. Wenn die Sendung fertig ist,

geht das Zustandsdiagramm in den Zustand "Busruhezustand" über.

Warten auf den Rest der Schlitz

In diesem Zustand wartet das FSD (Zustandsdiagramm), bis der Rest der impliziten Zeichenschlitze vorbei ist. Nach Feststellung einer Nachricht geht das Zustandsdiagramm über in den Zustand "Bus belegt". Wenn der Sendeempfänger richtig arbeitet, verstreichen in diesem Zustand nicht mehr als N-M-Schlitz.

Bus belegt

Der Zustandsmechanismus gelangt in diesen Zustand, wenn irgendein anderer Sendeempfänger Zugriff auf den Bus genommen und gesendet hat. Der FSM (Zustandsmechanismus) überwacht im Zustand "Bus belegt" den Bus bezüglich des Endes der Sendung und geht dann in den Zustand "Busruhezustand" über.

Vorteile des Protokolls gemäß Fig. 6 gegenüber den impliziten Protokollverfahren sind diejenigen, die gemäß Fig. 4 erreicht werden.

- 1) Eine Busmaster-Entscheidung (unter Verwendung eines Verfahrens mit implizitem Zeichen) dient zur Auswahl, welcher Sendeempfänger die nächste Nachricht auf den Bus geben kann; und
- 2) Der die Sendeerlaubnis aufweisende Sendeempfänger wird bei jeder Nachricht neu entschieden, was einen transparenten Zutritt und Austritt individueller Sendeempfänger zu dem Protokoll und aus dem Protokoll ermöglicht und gewährleistet, daß die Übertragung mit der höchsten Priorität, die in dem System verfügbar ist, bei jeder Entscheidung erfolgt.

Mehrstufige Busmaster-Entscheidung (Fig. 7)

Fig. 7 ist ein Zustandsdiagramm zur Realisierung einer mehrstufigen Busmaster-Entscheidung.

Jeder Sendeempfänger enthält eine Realisierung des Zustandsdiagramms (FSD). Deshalb bezieht sich das Zustandsdiagramm auf die Sichtweise seitens eines einzelnen Sendeempfängers.

Der durch Fig. 7 beschriebene Mechanismus erweitert die Busmaster-Entscheidungsfähigkeit gemäß Fig. 4 so, daß eine "mehrstufige Entscheidung" möglich ist. Eine allgemeine Beschreibung dieser Möglichkeit wird im folgenden gegeben. Innerhalb der anfänglichen Schlitz-Weiterschaltung für implizite Zeichen nach der Synchronisierung (d. h. nach einer Primärstörung) werden mehrere Sendeempfänger jedem impliziten Zeichenschlitz (Primärschlitz) zugeordnet. Sämtliche Sendeempfänger, die den Versuch unternehmen, auf einen speziellen impliziten Zeichen-Primärschlitz zuzugreifen, tun dies dadurch, daß anstelle des Sendens einer Nachricht ein Sekundär-Steuersignal aufgegeben wird. Dieses Sekundär-Steuersignal leitet eine neue Schlitz-Weiterschaltung für implizite Zeichen (Sekundärschlitz für implizite Zeichen) ein, wobei jedem Sendeempfänger aus einem derartigen gemeinsamen impliziten Zeichen-Primärschlitz in eindeutiger Weise ein impliziter Zeichen-Sekundärschlitz zugewiesen wird. Zur Inanspruchnahme seines einzigartigen Sekundärschlitzes sendet der Sendeempfänger eine Busbesitznachricht. Die Sendeempfänger sind synchronisiert beim Zustand "Warten, bis sämtliche Störer zu Ende sind", da das Ende des

letzten Störsignals das synchronisierende Ereignis ist.

Die Bedeutung dieses Protokolls liegt darin, daß eine große Anzahl von Sendeempfängern in einem relativ schmalen Zeitschlitz auf dem Bus Platz hat. Geschieht dadurch, daß ein Satz von primären impliziten Zeichenschlitz für eine Entscheidung unter Gruppen von Sendeempfängern zur Verfügung steht und sich individuelle Sendeempfänger innerhalb einer Gruppe um sekundäre implizite Zeichenschlitze bemühen.

Diese Synchronisierung findet unter Verwendung eines Zeichenschlitzmechanismus mit einer Dauer statt, die proportional ist zu der Quadratwurzel der Anzahl der für die Entscheidung in Frage kommenden Sendeempfänger (wobei hier grob eine gleiche Verteilung der Sendeempfänger innerhalb der Gruppen angenommen wird). Wenn z. B. eine Entscheidung unter 25 Sendeempfängern getroffen werden soll und es fünf Gruppen mit jeweils fünf Sendeempfängern gibt, so ist der Zeitschlitz proportional zu fünf. Dem Fachmann ist klar, daß Schlitz auch durch einen Nachrichtentyp oder durch andere Kriterien zugewiesen werden können, solange der Systembetrieb gewährleistet, daß nicht zwei Sendeempfänger gleichzeitig derselben Kombination von Primär- und Sekundärschlitz zugeordnet werden. Dem Fachmann ist außerdem klar, daß das mehrstufige Entscheidungsverfahren ausgedehnt werden kann auf mehr als zwei Stufen der Schlitz-Weiterschaltung.

Die folgende Schreibweise gilt für Fig. 7:

Es gibt N Sendeempfänger, die an den Bus gekoppelt sind (von denen nicht sämtliche in Betrieb oder aktiv sein müssen).

Jedem Sendeempfänger wird eine Gruppennummer G (Primärschlitz) und eine Untergruppennummer H (Sekundärschlitz) zugeordnet. G und H erhalten als kleinsten Wert den Wert 0. Jede Kombination G/H ist einzigartig für einen Sendeempfänger innerhalb des Systems. Während die Zuordnung willkürlich vorgenommen werden kann, besitzt hier jede Gruppe G eine etwa gleiche Anzahl von Sendeempfängern.

Neusynchronisierung

Dieser Zustand ist identisch mit dem entsprechenden Zustand nach Fig. 4. Wenn zusätzlich eine "kurze Busstörung" (die später noch beschrieben wird) festgestellt wird, so geht das Zustandsdiagramm direkt in den Zustand "Nicht der Busmaster" über, weil das Zustandsdiagramm einen Neusynchronisierungsversuch unternommen hat, nachdem die Primärschlitz-Weiterschaltung begonnen hat.

Stören des Busses

Dieser Zustand ist der gleiche wie in Fig. 4.

Warten, bis alle Störer zu Ende sind

Dieser Zustand ist der gleiche wie in Fig. 4.

Rahmenlücke

Dieser Zustand ist der gleiche wie in Fig. 4.

Warten auf den G-ten Schlitz

Nach der Rahmenlücke wartet jeder Sendeempfänger auf den Zeitschlitz des impliziten Zeichens seiner ihm zugeordneten Gruppe G. Wenn der G-te implizite

Zeichenschlitz beginnt, geht der Sendeempfänger über in den Zustand "Stören des Busses (Gruppe)". Wenn das Zustandsdiagramm von einem anderen Sendeempfänger eine Störung feststellt, geht das Zustandsdiagramm in den Zustand "Nicht der Busmaster" über.

Nicht der Busmaster

Dieser Zustand ist derselbe wie in Fig. 4.

Stören des Busses (Gruppe)

Dieser Zustand ist in seiner Funktion ähnlich dem Zustand "Stören des Busses". Allerdings kann die Länge des Steuersignals kürzer sein als beim Zustand "Störung des Busses". Weil es nur notwendig ist, daß sämtliche Empfänger die Existenz eines nicht-störenden Signals registrieren, ist keine Synchronisierung von ihnen nötig. Diese Störung wird hier als "kurze Störung" bezeichnet, obschon sie möglicherweise nicht tatsächlich kürzer ist als die andere Störung (allerdings ist sie hier von genügend unterschiedlicher Dauer — länger oder kürzer — um sie von dem anderen Steuersignal zu unterscheiden). Weil sämtliche Sendeempfänger bereits synchronisiert sind, ist ein separater Zustand entsprechend dem Zustand "Warten, bis alle Störer zu Ende sind" nicht erforderlich.

Sekundärrahmenlücke

Dieser Zustand ist identisch mit dem Zustand Rahmenlücke.

Warten auf den H-ten Schlitz

Dieser Zustand ist in seiner Funktion ähnlich dem Zustand "Warten auf den G-ten Schlitz". Allerdings ist der h-te Schlitz für sämtliche Sendeempfänger innerhalb der gerade aktiven Gruppe G einzigartig. Wenn der H-te implizite Zeichenschlitz beginnt, geht der Sendeempfänger über in den Zustand "Senden Busbesitznachricht". Wenn das Zustandsdiagramm eine Busbesitznachricht seitens irgendeines anderen Empfängers erfaßt, geht es über in den Zustand "Nicht der Busmaster".

Senden Busbesitznachricht

Wenn der Zustandsmechanismus den Zustand "Senden Busbesitz-Nachricht" erreicht, so ist er erste Sendeempfänger, der die Verfügbarkeit eines impliziten Zeichenschlitzes innerhalb der Gruppe G erkennt (entweder deshalb, weil H den Wert 0 hat, oder weil niedrigere Werte von H ohne Funktion oder mit dem Kommunikationsnetzwerk nicht verbunden sind). Deshalb sendet dieser FSM eine Busbesitz-Nachricht, um sämtlichen anderen Knoten zu signalisieren, daß er den Bus besitzt. Die Nachricht über den Busbesitz bedeutet den Besitz des Busses und beinhaltet nicht notwendigerweise auch noch Daten. Wenn die Sendung fertig ist, geht der FSM in den Zustand "Sendeempfänger ist Busmaster" über.

Es ist ersichtlich, daß die mehrstufige Entscheidung gemäß Fig. 7 dazu dienen kann, die Anzahl von der Entscheidung unterliegenden Sendeempfängern gemäß Fig. 5 zu erhöhen.

Dieser Zustand ist identisch mit dem nach Fig. 4.
Vorteile dieses Protokolls gemäß Fig. 7 gegenüber
anderen Verfahren zur Busmaster-Entscheidung sind:

- 1) Sämtliche Vorteile des Verfahrens nach Fig. 4;
und
- 2) Eine Entscheidung wird innerhalb weniger
Schlitze erreicht als sie bei den traditionellen Ver-
fahren mit implizitem Zeichenschlitz erforderlich
sind.

Mehrstufiges Reservations-CSMA-Protokoll (Fig. 8)

Fig. 8 ist ein endliches Zustandsdiagramm (FSD) zur Realisierung des Betriebs eines als Reservations-CSMA-Protokoll benannten Mediumzugriffsprotokolls mit implizitem Zeichen bei festen Prioritäten und einer mehrstufigen Entscheidung, wobei das Protokoll den Bus nach jedem Sendevorgang in den Ruhezustand überführt. Jeder Sendeempfänger enthält eine Ausgestaltung des FSD. Daher entspricht das FSD dem Standpunkt eines einzelnen Sendeempfängers.

Dieses Protokoll ist ähnlich den binären Abwärtszähl-Protokollen unter Verwendung der Bit-Dominanz (z. B. CAN). Allerdings erfordert es nicht, daß das Medium die Bit-Dominanz trägt. Die Bedeutung des durch Fig. 8 beschriebenen Mechanismus liegt darin, daß er das mehrstufige Busmaster-Entscheidungsverfahren nach Fig. 7 kombiniert mit dem Reservations-CSMA-Protokoll nach Fig. 6, um ein mehrstufiges Entscheidungs-Reservations-CSMA-Protokoll zu realisieren.

Die Notation von Fig. 7 findet in Fig. 8 Anwendung. Zusätzlich bezeichnet J den Maximalwert, der G + 1 für jeden Sendeempfänger in dem System zugeordnet ist (d. h., die maximale Anzahl von Gruppen/Primärschlitzen). K bezeichnet den Maximalwert der H + 1 für irgendeinen Sendeempfänger in dem System zugewiesen ist (d. h. die maximale Anzahl von Sekundärschlitzen). L repräsentiert das Maximum von J und K (d. h., die maximale Anzahl von Schlitzen bei jeglicher Schlitz-Weiter-schaltung).

Neusynchronisierung

Dieser Zustand entspricht dem gleichen Zustand in den Fig. 6 und 7. Die maximale Ruheperiode beträgt L Schlitzzeiten zuzüglich eine Rahmenlücke.

Busruhezustand

Dieser Zustand ist identisch mit dem nach Fig. 6.

Stören des Busses

Dieser Zustand ist identisch mit dem nach Fig. 6.

Warten, bis sämtliche Störer zu Ende sind

Dieser Zustand ist identisch mit dem nach Fig. 6.

Die Sendeempfänger sind synchronisiert mit dem Zustand "Warten, bis sämtliche Störer zu Ende sind", weil das Ende des letzten Störsignals das synchronisierende Ereignis ist.

Dieser Zustand ist mit dem nach Fig. 6 identisch.

Warten auf den G-ten Schlitz

Dieser Zustand ist mit dem entsprechenden Zustand nach Fig. 7 identisch, mit der Ausnahme, daß dann, wenn eine kurze Störung festgestellt wird, das Zustandsdiagramm (FSD) in den Zustand "Warten auf Weitere" übergeht.

Warten auf Weitere

Dieser Zustand entspricht dem Zustand "Nicht der Busmaster" in Fig. 7. Wenn das Diagramm den Zustand "Warten auf Weitere" erreicht, werden einige weitere Sendeempfänger-Gruppen einem Sekundärschlitz-Entscheidungsprozeß unterzogen. Das FSD wartet dann auf das Senden einer Nachricht seitens eines weiteren Sendeempfängers. Bei korrektem Betrieb wird diese weitere Nachricht innerhalb einer kurzen Störzeit zuzüglich einer Rahmenlücke zuzügliche K Schlitzzeiten erfaßt.

Nachricht sendefertig?

Dieser Zustand ist identisch mit dem entsprechenden Zustand in Fig. 6, mit der Ausnahme, daß dann, wenn keine Nachricht zu senden ist, das Zustandsdiagramm in den Zustand "Stören des Busses (Gruppe)" übergeht.

Stören des Busses (Gruppe)

Dieser Zustand ist ähnlich wie der in Fig. 7.

Sekundärrahmenlücke

Dieser Zustand ist ähnlich wie der in Fig. 7.

Warten auf H-ten Schlitz

Dieser Zustand ist ähnlich wie der in Fig. 7.

Senden Nachricht

Dieser Zustand ist ähnlich wie der in Fig. 7, mit der Ausnahme, daß anstelle einer Busbesitz-Nachricht eine Datennachricht vorgesehen ist.

Warten auf Rest der Schlitze

Dieser Zustand entspricht dem Zustand "Warten auf Rest der Schlitze" in Fig. 6. Bei richtigem Betrieb übersteigt die Anzahl verbleibender Schlitze nicht den Wert J-G. Das Zustandsdiagramm geht über in den Zustand "Warten auf Weitere", wenn eine kurze Störung erfaßt wird.

Bus belegt

Dieser Zustand ist ähnlich wie in Fig. 6.

Den Ruhezustand vermeidendes
Reservations-CSMA-Protokoll (Fig. 9)

Fig. 9 ist ein endliches Zustandsdiagramm zur Realisierung des Betriebs eines Mediumzugriffsprotokolls

mit impliziten Zeichen vom Typ Reservations-CSMA bei festen Prioritäten, wobei das Protokoll den Busruhezustand vermeidet, während noch zu sendende Nachrichten verbleiben. Jeder Sendeempfänger enthält eine Realisierung des Zustandsdiagramms, so daß das Zustandsdiagramm aus der Sichtweise eines einzelnen Sendeempfängers funktioniert.

Die Bedeutung des durch Fig. 9 beschriebenen Mechanismus besteht darin, daß dieser die RCSMA-Protokoll-Fähigkeit nach Fig. 6 nutzt, die Effizienz der Busbelegung aber dadurch erhöht, daß der Busruhezustand und damit Busstörungen für den Fall vermieden werden, daß noch zu sendende Nachrichten verbleiben. Die Schlüsselidee besteht darin, den Übergang vom Zustand "Bus belegt" und "Senden Nachricht" in den Zustand "Rahmenlücke" vorzunehmen, wobei ein neues Schlitz-Weiterschalten am Ende jeder Nachricht begonnen wird. Diese Verbesserung ebnet den Weg zur Realisierung von rotierenden Prioritäten.

Die Schreibweise nach Fig. 6 findet Anwendung bei Fig. 9.

Neusynchronisierung

Dieser Zustand ist identisch mit dem entsprechenden Zustand nach Fig. 6, wobei die folgende zusätzliche Möglichkeit gegeben ist: Wenn auf dem Bus eine Nachricht festgestellt wird, geht der Zustandsmechanismus über in den Zustand "Bus belegt". Dieser zusätzliche Übergang ist deshalb hinzugeführt, weil ein neu-synchronisiertes Zustandsdiagramm in das Protokoll eintreten kann, ohne daß darauf gewartet werden muß, daß der Bus den Ruhezustand einnimmt (das Warten auf eine Ruhepause kann bei einem stark ausgelasteten Netzwerk lange Zeit in Anspruch nehmen).

Busruhezustand

Dieser Zustand ist ähnlich wie in Fig. 6.

Stören des Busses

Dieser Zustand ist ähnlich wie in Fig. 6.

Warten, bis alle Störer zu Ende sind

Dieser Zustand ist ähnlich wie in Fig. 6. Die Sendeempfänger sind synchronisiert, wenn der Zustand "Warten, bis sämtliche Störer zu Ende sind" nach dem Ende des letzten Störsignals das synchronisierende Ereignis ist.

Rahmenlücke

Dieser Zustand ist ähnlich wie in Fig. 6.

Warten auf M-ten Schlitz

Dieser Zustand ist ähnlich wie in Fig. 6.

Nachricht sendefertig?

Dieser Zustand ist ähnlich wie in Fig. 6.

Senden Nachricht

Dieser Zustand ist dem entsprechenden Zustand in Fig. 6 ähnlich, mit der Ausnahme, daß der Zustandsme-

chanismus in den Zustand "Rahmenlücke" übergeht, wenn die Sendung erfolgt ist. Sämtliche Sendeempfänger verwenden das Ende der Nachricht als Synchronisierungspunkt ebenso wie eine Störung als eine Synchronisierung verwendet wird, weil der Übergang in den Zustand "Rahmenlücke" erfolgt (weil lediglich ein Sendeempfänger zu irgendeiner gegebenen Zeit eine Nachricht senden kann, ist das Ende der Sendung mit Sicherheit ein eindeutiger Synchronisationspunkt).

Warten auf den Rest von Schlitz

Dieser Zustand ist ähnlich dem entsprechenden Zustand in Fig. 6, mit der Ausnahme, daß der Übergang in den "Busruhezustand" hinzugefügt wird, wenn N-M Schlitz überschritten werden, was im Normalbetrieb immer dann geschieht, wenn keine Nachrichten zu senden sind.

Bus belegt

Dieser Zustand ist ähnlich dem entsprechenden Zustand nach Fig. 6, mit der Ausnahme, daß der Zustandsmechanismus in den Zustand "Rahmenlücke" übergeht, wenn die Sendung erfolgt.

Vorteile dieses Protokolls gemäß Fig. 9 gegenüber anderen expliziten Protokollverfahren sind die gemäß Fig. 6, zusätzlich des Vorteils, daß die für die Störsignalsendung aufgebrauchte Zeit eingespart wird, wenn der Bus bei Mehrfachnachrichten belegt ist.

Reservations-CSMA-Protokoll mit rotierenden Schlitz (Fig. 10)

Fig. 10 ist ein endliches Zustandsdiagramm zur Realisierung des Betriebs eines RCSMA-Mediumzugriffsprotokolls mit einer Kombination aus Schlitz fester Priorität und rotierenden Prioritäten. Jeder Sendeempfänger enthält eine Realisierung des Zustandsdiagramms in einer endlichen Zustandsmaschine oder einem endlichen Zustandsmechanismus (FSM); deshalb erfolgt die Darstellung des FSD aus der Sicht eines einzelnen Sendeempfängers.

Die Bedeutung des in Fig. 10 dargestellten Mechanismus besteht darin, daß er die RCSMA-Protokollfähigkeit gemäß Fig. 9 verwendet, jedoch sowohl feste als auch rotierende implizite Zeichenschlitze vorsieht. Rotierende Schlitz realisieren einen Round-Robin-Zugriff für die Sendeempfänger und gewährleisten einen fairen Zugriff auf das Netzwerk. Wünschenswert ist es, feststehende Schlitz spezifischen Nachrichtentypen hoher Priorität zuzuordnen, während ein rotierender Schlitz jedem Sendeempfänger zugeordnet wird (es liegt an dem Systementwerfer, sicherzustellen, daß nicht zwei Sendeempfänger sich um einen festen Schlitz bewerben, in dem der gleiche Nachrichtentyp ausgegeben wird). Dem Fachmann ist klar, daß auch irgendeine andere Kombination aus mehreren festen oder rotierenden Schlitzgruppen mit verschiedenen Schlitz für Sendeempfänger Nachrichten oder eine Kombination daraus unter Anwendung ähnlicher Methoden realisiert werden kann.

Die folgende Schreibweise gilt für Fig. 10:

Es gibt N Sendeempfänger, die an den Bus gekoppelt sind (von denen nicht sämtliche in Betrieb oder aktiv sein müssen).

Es gibt Q unterschiedliche feststehende Prioritätsschlitz, wobei Nachrichten mit hoher Priorität eine

Priorität P zwischen 0 und Q-1 zugewiesen wird. Es gibt N rotierende implizite Zeichenschlitze im Anschluß an die festen Prioritätsschlitze. Jedem Sendeempfänger wird eine einzigartige Zahl M zwischen 0 und N-1 einschließlich zugewiesen, welche dessen spezieller Sendeempfänger ID-Zahl entspricht.

Jeder Sendeempfänger besitzt eine Variable, die als LAST_ID bezeichnet wird und den Wert der ID des zuletzt aktiven Sendeempfängers zur Realisierung rotierender Schlitze aufzeichnet. R ist eine vorübergehende Variable zur Berechnung der Lage des relativen Schlitzes innerhalb eines Satzes von rotierenden impliziten Zeichenschlitzen.

Neusynchronisierung

Dieser Zustand ist identisch mit dem entsprechenden Zustand nach Fig. 9, mit der Ausnahme, daß die Busruhezustands-Wartezeit N+Q Schlitze zuzüglich einer Rahmenlücke beträgt, entsprechend der längsten Zeit, die der Bus möglicherweise während der Entscheidungsprozedur inaktiv ist.

Busruhezustand

Dieser Zustand ist ähnlich dem entsprechenden Zustand nach Fig. 9.

Stören des Busses

Warten, bis sämtliche Störer zu Ende sind

Dieser Zustand ist ähnlich dem entsprechenden Zustand nach Fig. 9, mit der Maßgabe, daß seine LAST_ID-Variable auf den Wert N-1 eingestellt ist.

Rahmenlücke

Dieser Zustand ist ähnlich wie der entsprechende Zustand in Fig. 9.

Prioritätsnachricht sendefertig?

Nach jeder Rahmenlücke bestimmt jeder Sendeempfänger, ob er eine Nachricht hoher Priorität innerhalb eines impliziten Zeichenschlitzes mit fester Priorität zu senden hat. Falls ja, so setzt er seinen internen Wert von P von den mehreren abgehenden Nachrichten hoher Priorität in seiner Sende-Warteschlange auf die höchste Priorität und geht in den Zustand "Warten auf den P-ten Schlitz" über. Ansonsten geht er in den Zustand "Warten auf sämtliche feststehenden Schlitze" über.

Warten auf P-ten Schlitz

Der Zustand "Warten auf den P-ten Schlitz" ist ähnlich dem Zustand "Warten auf den M-ten Schlitz" in Fig. 9. Beim "Warten auf den P-ten Schlitz" hat das Zustandsdiagramm festgestellt, daß eine Nachricht hoher Priorität zum Senden verfügbar ist. Es wartet auf den P-ten Schlitz (wobei P die Priorität der zu sendenden Nachricht ist) und geht in den Zustand "Senden I.D. & Nachricht" über. Wenn irgendein anderer Sendeempfänger einen kleineren Wert von P besitzt, wird er als erster senden, wodurch das derzeitige Zustandsdiagramm einen Übergang nach "Bus belegt" macht.

Warten auf sämtliche festen Schlitze

Der Zustand "Warten auf sämtliche festen Schlitze" wird erreicht, wenn das Zustandsdiagramm keine zu sendenden Nachrichten hoher Priorität besitzt. Das Zustandsdiagramm wartet auf das Verstreichen von Q Schlitzen und überwacht den Bus hinsichtlich des Vorhandenseins einer Nachricht hoher Priorität seitens eines anderen Sendeempfängers. Wenn ein anderer Sendeempfänger eine Nachricht sendet, geht das Zustandsdiagramm in den Zustand "Bus belegt" über. Ansonsten geht das Diagramm über in den Zustand "Warten auf den R-ten Schlitz", um mit einem rotierenden Schlitz-Weiterschalten zu beginnen.

Warten auf den R-ten Schlitz

Nach dem Eintritt in den Zustand "Warten auf den R-ten Schlitz" berechnet das FSD (endliche Zustandsdiagramm) den Wert R auf der Grundlage einer Sendeempfänger-Nummer M und der Sendeempfänger-Nummer des zuletzt aktiven Sendeempfängers unter Verwendung folgender Formel:

25 (M-LAST_ID-1) Modulo N

Damit wird dem Sendeempfänger, der um eins höher nummeriert ist als der zuletzt aktive Sendeempfänger, ein R-Wert von 0 zugeordnet, und dem zuletzt aktiven Sendeempfänger wird ein R-Wert von N-1 zugeordnet.

Wenn die Nachricht von irgendeinem anderen Sendeempfänger empfangen wird, geht das Zustandsdiagramm in den Zustand "Bus belegt" über. Wenn sämtliche R Schlitze verstreichen, ohne daß eine Nachricht festgestellt wird, geht das Diagramm über in den Zustand "Nachricht zu senden?"

Nachricht sendefertig?

40 Dieser Zustand ist ähnlich wie der in Fig. 9.

Senden I.D. & Nachricht

Dieser Zustand ist ähnlich dem Zustand "Senden Nachricht" in Fig. 9. Zusätzlich zu dem Senden einer Nachricht sendet das Zustandsdiagramm seine eigene Sender-ID (d. h. sein M-Wert), falls er eine Nachricht mit rotierendem Schlitz sendet. Wenn es eine Prioritätsnachricht sendet, sendet es den Wert von LAST_ID so daß die Schlitz-Rotation fortgesetzt wird, ohne durch das Eindringen einer Nachricht mit hoher Priorität gestört zu werden.

Warten auf den Rest von Schlitz

55 Dieser Zustand ist im Betrieb ähnlich wie der entsprechende Zustand in Fig. 9, mit der Ausnahme, daß die Anzahl verbleibender Schlitze bei der Schlitz-Rotation N-R Schlitze beträgt.

Die Sendeempfänger werden synchronisiert, wenn sie sämtlich den gleichen Zustand in ihren jeweiligen endlichen Zustandsdiagrammen einnehmen. Der Zustand, bei dem dies stattfindet, ist der Zustand im Anschluß an den Zustand "Warten, bis sämtliche Störer zu Ende sind" nach dem Ende des letzten Störsignals als das synchronisierende Ereignis.

Dieser Zustand ist ähnlich wie in Fig. 9.

Vorteile dieses Protokolls nach Fig. 10 gegenüber anderen expliziten Protokollverfahren sind die gleichen wie diejenigen gemäß Fig. 9, wozu noch eine Kombination aus festen und rotierenden Spitzen realisiert ist, um eine rasche Bedienung von Nachrichten hoher Priorität bei fairem Zugang von Nachrichten geringer Priorität zu ermöglichen.

Reservations-CSMA-Protokoll mit mehrstufigen rotierenden Schlitzen (Fig. 11)

Fig. 11 ist ein endliches Zustandsdiagramm zur Realisierung des Betriebs eines RCSMA-Mediumzugriffsprotokolls mit sowohl einer festen Prioritätsschlitzrotation als auch zwei Stufen einer Entscheidung bezüglich eines rotierenden Prioritätsschlitzes. Jeder Sendeempfänger enthält eine Ausführung des Zustandsdiagramms, so daß das Zustandsdiagramm aus der Sicht eines einzelnen Sendeempfängers zu verstehen ist.

Die Bedeutung des durch Fig. 11 beschriebenen Mechanismus liegt darin, daß er das mehrstufige RCSA-Protokoll nach Fig. 8 kombiniert mit der Möglichkeit rotierender Schlitze gemäß Fig. 10, um ein Protokoll hervorzubringen, welches feste ebenso wie rotierende Schlitze mit einer mehrstufigen Entscheidung bezüglich der rotierenden Schlitze verwendet. Dem Fachmann ist klar, daß jegliche Kombination aus einer Mehrzahl fester und rotierender Schlitzgruppen bei unterschiedlichen Schlitzen für Sendeempfänger, Nachrichten oder eine Kombination ebenso möglich ist, wie mehrstufige Strukturen innerhalb jeder Gruppe, wenn man ähnliche Methoden anwendet.

Die Schreibweise sowohl nach Fig. 8 als auch nach Fig. 10 gilt auch Fig. 11. Außerdem bedeutet W den Maximalwert der Werte $Q + J + K$ (d. h. die längste Sequenz von Schlitzen innerhalb des Protokolls). Y und Z sind vorübergehende Variablen zum Berechnen der Schlitzpositionen.

Neusynchronisierung

Dieser Zustand ist ähnlich dem entsprechenden Zustand in Fig. 9, mit der Ausnahme, daß die Wartezeit für den im Ruhezustand befindlichen Bus W Schlitze zuzüglich einer Rahmenlücke beträgt, entsprechend der längsten Zeit, in der der Bus während der Entscheidungsprozedur inaktiv sein kann.

Busruhezustand

Dieser Zustand ist ähnlich wie in Fig. 10.

Störer des Busses

Dieser Zustand ist ähnlich wie in Fig. 10.

Warten, bis sämtliche Störer zu Ende sind

Dieser Zustand ist ähnlich wie in Fig. 10.

Die Sendeempfänger sind synchronisiert, wenn sie sämtlich im gleichen Zustand ihrer jeweiligen Zustandsdiagramme sind. Der Zustand, in welchem dies in einem Zustand im Anschluß an den Zustand "Warten, bis alle Störer zu Ende sind" nach dem Ende des letzten Störsignals stattfindet, ist das synchronisierende Ereignis.

Dieser Zustand ist ähnlich wie in Fig. 10.

Prioritätsnachricht sendefertig?

Dieser Zustand ist ähnlich wie in Fig. 10.

Warten auf P-ten Schlitz

Dieser Zustand ist ähnlich wie in Fig. 10.

Warten auf sämtliche festen Schlitze

Dieser Zustand ist ähnlich wie in Fig. 10.

Warten auf Y-ten Schlitz

Nach Eintritt in den Zustand "Warten auf den Y-ten Schlitz" berechnet das Zustandsdiagramm eine Primärschlitzposition Y und eine Sekundärschlitzposition auf der Grundlage seiner Sendeempfänger-Nummer M und der Nummer des zuletzt aktiven Sendeempfängers unter Verwendung einer Ganzzahl-Arithmetik und folgenden Formeln:

$$R = (M - \text{LAST_D} - 1) \text{ Modulo } N$$

$$Y = R/J$$

$$Z = R - (Y * J)$$

Damit wird der um eine Nummer höher als der zuletzt aktive Sendeempfänger nummerierte Sendeempfänger dem ersten Primärschlitz und dem ersten Sekundärschlitz zugeordnet.

Wenn ein Signal von irgendeinem anderen Sendeempfänger empfangen wird, geht das Zustandsdiagramm in den Zustand "Warten auf Nachricht" über. Wenn sämtliche Y-Schlitze verstreichen, ohne daß ein Signal erfaßt wird, geht das Zustandsdiagramm in den Zustand "Nachricht sendefertig?" über.

Nachricht sendefertig?

Dieser Zustand ist ähnlich dem entsprechenden Zustand in Fig. 8.

Stören des Busses (Gruppe)

Dieser Zustand ist ähnlich dem entsprechenden Zustand in Fig. 8.

Sekundärrahmenlücke

Dieser Zustand ist ähnlich dem entsprechenden Zustand in Fig. 8.

Warten auf Z-ten Schlitz

Dieser Zustand ist ähnlich wie der in Fig. 8 gezeigte Zustand "Warten auf H-ten Schlitz", mit der Ausnahme, daß der Wert Z anstelle des Werts H verwendet wird.

Senden I.D. & Nachricht

Dieser Zustand ist ähnlich dem entsprechenden Zustand in Fig. 10.

Warten auf Rest der Schlitzze

Dieser Zustand ist im Betrieb ähnlich wie der entsprechende Zustand in Fig. 10, mit der Ausnahme, daß die bei der Schlitzrotation verbleibende Anzahl von Schlitzzen J-Y Schlitzze beträgt.

Warten auf Nachricht

In dem Zustand "Warten auf Nachricht" wartet das Zustandsdiagramm auf die Beendigung des Störens und von impliziten Zeichenschlitzzen und darauf, daß die aktuelle Nachricht beginnt, um dann in den Zustand "Bus belegt" überzugehen.

Bus belegt

Dieser Zustand ist ähnlich dem entsprechenden Zustand in Fig. 10.

Vorteile dieses Protokolls gemäß Fig. 11 gegenüber anderen Protokollverfahren sind diejenigen, die auch nach dem Protokoll gemäß Fig. 8 erreicht werden, zuzüglich jenen gemäß Fig. 10, zuzüglich einer Kombination aus festen und mehrstufigen rotierenden Schlitzzen, um eine rasche Bedienung von Nachrichten hoher Priorität bei fairem Zugang für Nachrichten niedriger Priorität zu ermöglichen und darüberhinaus eine große Anzahl von Sendeempfängern bedienen zu können.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Synchronisieren einer Mehrzahl von Sendeempfängern an einem Kommunikationsmedium, umfassend:
Aufgeben eines Störsignals seitens eines Sendeempfängers auf das Kommunikationsmedium, wenn sich das Kommunikationsmedium im Ruhezustand befindet; und
Empfangen des Störsignals bei sämtlichen Sendeempfängern, um die Sendeempfänger ansprechend auf das Störsignal zu synchronisieren.
2. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch den Schritt: Ansprechend auf das Störsignal, Senden einer Kommunikationsmediumbesitz-Nachricht von genau einem der Sendeempfänger auf das Kommunikationsmedium im Anschluß an eine oder mehrere Schlitzzeiten, die zu dem Sendeempfänger gehören.
3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem der Sendeempfänger, welcher eine Kommunikationsmediumbesitz-Nachricht sendet, ein anfänglicher Zeichenhalter in einem Protokoll für explizite Zeichen ist.
4. Verfahren zum Senden einer ersten Nachricht innerhalb eines einem Sendeempfänger eindeutig zugeordneten Zeitschlitzes, umfassend:
Ansprechend auf einen Ruhezustand des Kommunikationsmediums, Aufgeben eines Störsignals von dem Sendeempfänger auf das Kommunikationsmedium;
Empfangen des Störsignals bei sämtlichen an dem Kommunikationsmedium befindlichen Sendeempfängern, um die Sendeempfänger ansprechend auf das Störsignal zu synchronisieren;
Senden einer ersten Nachricht, nachdem ein oder mehrere zu dem Sendeempfänger gehörige Zeitschlitzze verstrichen sind, und ansprechend auf das Störsignal; und
Übergang jedes Sendeempfängers am Ende des

Sendevorgangs in den Ruhezustand.

5. Verfahren nach Anspruch 4, gekennzeichnet durch: Senden einer zweiten Nachricht im Anschluß an eine Anzahl von Zeitschlitzzen über das Ende der ersten Nachricht hinaus, wobei die zweite Nachricht eine Pseudonachricht ist, die lediglich dazu dient, einen Übergang des Busses in den Ruhezustand zu verhindern, wenn keine anderen Nachrichten zum Senden verfügbar sind.

6. Verfahren nach Anspruch 4, gekennzeichnet durch:

Senden einer zweiten Nachricht im Anschluß an einen oder mehrere Zeitschlitzze über das Ende der ersten Nachricht hinaus, jedoch Zulassen des Übergangs des Kommunikationsmediums in den Ruhezustand, wenn keine zweite Nachricht zum Senden verfügbar ist.

7. Verfahren zum Senden einer ersten Nachricht innerhalb eines einem Sendeempfänger eindeutig zugeordneten Zeitschlitzes, umfassend:

Ansprechend auf einen Ruhezustand des Kommunikationsmediums, Aufgeben eines Störsignals von dem Sendeempfänger auf das Kommunikationsmedium;

Empfangen des Störsignals bei sämtlichen an dem Kommunikationsmedium befindlichen Sendeempfängern, um die Sendeempfänger ansprechend auf das Störsignal zu synchronisieren;

Senden einer ersten Nachricht, nachdem ein oder mehrere zu dem Sendeempfänger gehörige Zeitschlitzze verstrichen sind, und ansprechend auf das Störsignal, wobei die Zeitschlitzze feste Prioritätsschlitzze enthalten, denen rotierende Schlitzze folgen; und Senden einer zweiten Nachricht im Anschluß an einen oder mehrere Zeitschlitzze über das Ende der ersten Nachricht hinaus, jedoch Zulassen des Übergangs des Kommunikationsmediums in den Ruhezustand, wenn keine zweite Nachricht zum Senden verfügbar ist, wobei die Zeitschlitzze feste Prioritätsschlitzze enthalten, denen rotierende Schlitzze folgen.

8. Verfahren zum Senden einer Nachricht innerhalb eines einem Sender eindeutig zugeordneten Zeitschlitzes, umfassend:

Aufgeben eines ersten Störsignals seitens eines Sendeempfängers auf das Kommunikationsmedium in Abhängigkeit eines Ruhezustands des Kommunikationsmediums;

Senden einer Prioritätsnachricht im Anschluß an eine Anzahl von Zeitschlitzzen, die über das erste Störsignal hinausgehen, wenn die erste Nachricht eine Prioritätsnachricht ist;

Falls im vorhergehenden Schritt keine Prioritätsnachricht zum Senden verfügbar ist, Aufgeben eines zweiten Störsignals von dem Sendeempfänger auf das Kommunikationsmedium im Anschluß an eine Anzahl von Zeitschlitzzen, die zu einer Gruppe von Sendeempfängern gehören, und abhängig von dem ersten Störsignal, wobei der Sendeempfänger ein Mitglied der genannten Gruppe ist; und Senden einer prioritätslosen ersten Nachricht im Anschluß an eine Anzahl von Zeitschlitzzen, die über das Störsignal hinausgehen.

9. Verfahren zum Senden einer Kommunikationsmediumbesitz-Nachricht zu mehreren an dem Kommunikationsmedium liegenden Sendeempfängern, umfassend:

Aufgeben eines ersten Störsignals von einem Sen-

deempfänger auf das Kommunikationsmedium in Abhängigkeit eines Medium-Ruhezustands;
 Aufgeben eines zweiten Steuersignals von dem Sendeempfänger auf das Kommunikationsmedium in Abhängigkeit des ersten Steuersignals im Anschluß an einen oder mehrere Zeitschlitze, die zu einer Gruppe von Sendeempfängern gehören, wobei der Sendeempfänger ein Mitglied der genannten Gruppe ist; und
 Senden einer Kommunikationsmittelbesitz-Nachricht von dem genannten Sendeempfänger auf das Kommunikationsmedium, nachdem ein oder mehrere Zeitschlitze, die zu dem genannten Sendeempfänger gehören, verstrichen sind, und in Abhängigkeit des zweiten Störsignals.
 10. Verfahren zum Senden einer ersten Nachricht innerhalb eines einem Sender eindeutig zugeordneten Zeitschlitzes, umfassend:
 Aufgeben eines ersten Steuersignals von einem Sendeempfänger auf das Kommunikationsmedium in Abhängigkeit eines Kommunikationsmedium-Ruhezustands;
 Aufgeben eines zweiten Störsignals von dem genannten Sendeempfänger auf das Kommunikationsmedium in Abhängigkeit des ersten Störsignals und nachfolgend einem oder mehreren Zeitschlitzen, die einer Gruppe von Sendeempfängern zugehören, wobei der genannte Sendeempfänger ein Mitglied der Gruppe ist; und
 Senden einer ersten Nachricht im Anschluß an eine Anzahl von zu den genannten Sendeempfängern gehörenden Zeitschlitzen in Abhängigkeit des zweiten Störsignals.
 11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem am Ende des Sendens der ersten Nachricht jeder Sendeempfänger in den Ruhezustand übergeht.
 12. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem anschließend an eine Anzahl von Zeitschlitzen über das Ende der ersten Nachricht hinaus eine zweite Nachricht gesendet wird, bei der es sich um eine Pseudonachricht handelt, die einen Übergang des Busses in den Ruhezustand verhindert, falls keine weiteren Nachrichten zum Senden verfügbar sind.
 13. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem im Anschluß an eine Anzahl von Zeitschlitzen über das Ende der ersten Nachricht hinaus eine zweite Nachricht gesendet wird, wobei der Sendeempfänger in den Ruhezustand gelangen kann, wenn keine zweite Nachricht zum Senden verfügbar ist.
 14. Verfahren zum Vermeiden von Kollisionen zwischen Nachrichten, die von verschiedenen Kommunikationsknoten auf dasselbe Kommunikationsmedium gegeben werden, indem die Kommunikationsknoten synchronisiert werden, umfassend:
 Bereitstellen mehrerer Kommunikationsknoten an einem einzelnen Kommunikationsmedium, wobei pro Knoten ein einzelner Sendeempfänger vorgesehen ist, jeder Kommunikationsknoten mit irgendeinem anderen Kommunikationsknoten an dem Kommunikationsmedium kommunizieren kann und sämtliche Kommunikationsknoten gleichen Zugriff zu dem Kommunikationsmedium und gleiche Steuerung über das Medium haben;
 Aufgeben eines Störsignals von irgendeinem der Kommunikationsknoten auf das Kommunikationsmedium als Funktion einer wiederkehrenden Synchronisationszeit; und
 Empfangen des Störsignals an sämtlichen Knoten,

um die Kommunikationsknoten ansprechend auf das Störsignal zu synchronisieren.
 15. Verfahren nach Anspruch 14, bei dem die Synchronisationszeit eine Funktion derjenigen Zeit ist, die das Senden einer Nachricht über das Kommunikationsmedium benötigt.
 16. Verfahren nach Anspruch 14, bei dem das Senden einer Nachricht während einer dem Kommunikationsknoten zugeordneten Zeitscheibe im Anschluß an das Senden des Störsignals erfolgt.
 17. Verfahren nach Anspruch 14, bei dem mehrere Nachrichten im Anschluß an das Aussenden des Störsignals in eine Mehrzahl von Zeitscheiben innerhalb eines Rahmens gesendet werden, wobei die Zeitscheiben eine Eins-Zu-Eins-Entsprechung mit der Nachricht aufweisen.
 18. Verfahren nach Anspruch 14, gekennzeichnet durch die Schritte:
 Es werden mehrere aufeinanderfolgende Rahmen gesendet, von denen jeder Rahmen mit dem Senden des Störsignals zum Synchronisieren sämtlicher Kommunikationsknoten an dem Kommunikationsmedium beginnt und jeder Rahmen mehrere Nachrichten umfaßt, die innerhalb einer Reihe von Zeitscheiben gesendet werden, eine Zeitscheibe pro Nachricht.
 19. Kommunikationssystem, umfassend:
 Mehrere Kommunikationsknoten an einem einzelnen Kommunikationsmedium, einen einzelnen Sendeempfänger für jeden Kommunikationsknoten, wobei jeder Kommunikationsknoten in der Lage ist, mit irgendeinem anderen Kommunikationsknoten an dem Kommunikationsmedium zu kommunizieren und sämtliche Kommunikationsknoten gleichen Zugang zu dem Kommunikationsmedium und gleiche Steuerung über das Medium besitzen;
 Eine Einrichtung zum Aufgeben eines Störsignals von irgendeinem der Kommunikationsknoten auf das Kommunikationsmedium als Funktion einer wiederkehrenden Synchronisationszeit; und
 Eine Einrichtung zum Empfangen des Störsignals an sämtlichen Kommunikationsknoten, um die Synchronisationsknoten in Abhängigkeit des Störsignals zu synchronisieren.
 20. System nach Anspruch 19, bei dem die Synchronisationszeit eine Funktion einer Zeit ist, die das Senden einer Nachricht über das Kommunikationsmedium benötigt.
 21. System nach Anspruch 19, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zum Senden einer Nachricht während einer dem Kommunikationsknoten zugeordneten Zeitscheibe im Anschluß an das Senden des Störsignals.
 22. System nach Anspruch 19, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zum Senden mehrerer Nachrichten im Anschluß an das Senden des Störsignals innerhalb mehrerer Zeitscheiben innerhalb eines Rahmens, wobei die Zeitscheiben eine Eins-Zu-Eins-Entsprechung bezüglich der Nachrichten aufweisen.
 23. System nach Anspruch 19, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zum Senden aufeinanderfolgender Rahmen, von denen jeder Rahmen mit dem Senden des Störsignals zum Synchronisieren sämtlicher Kommunikationsknoten an dem Kommunikationsmedium beginnt und jeder Rahmen mehrere Nachrichten umfaßt, die innerhalb einer Reihe von Zeitscheiben, eine Zeitscheibe pro Nachricht,

gesendet werden.

Hierzu 11 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

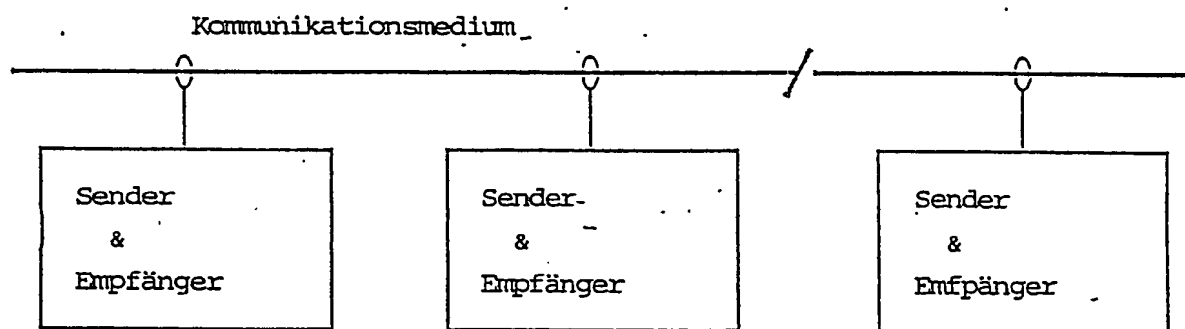
50

55

60

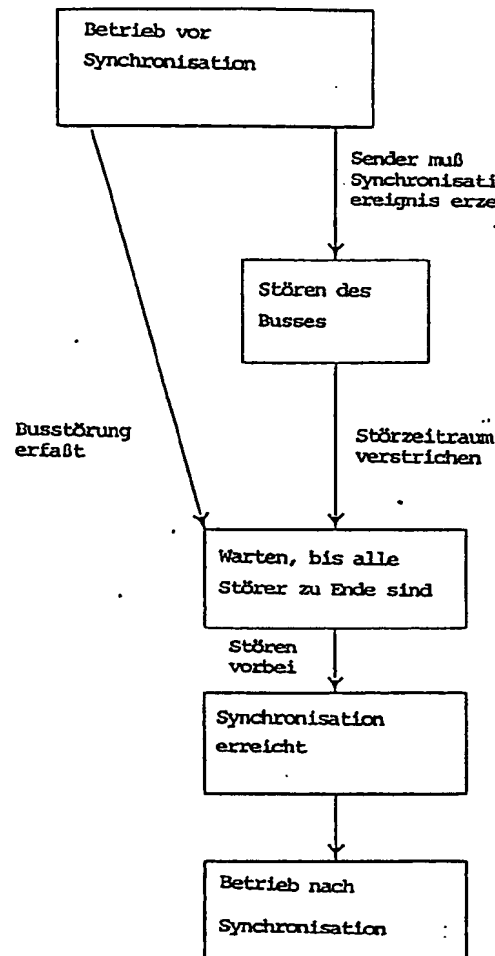
65

- Leerseite -

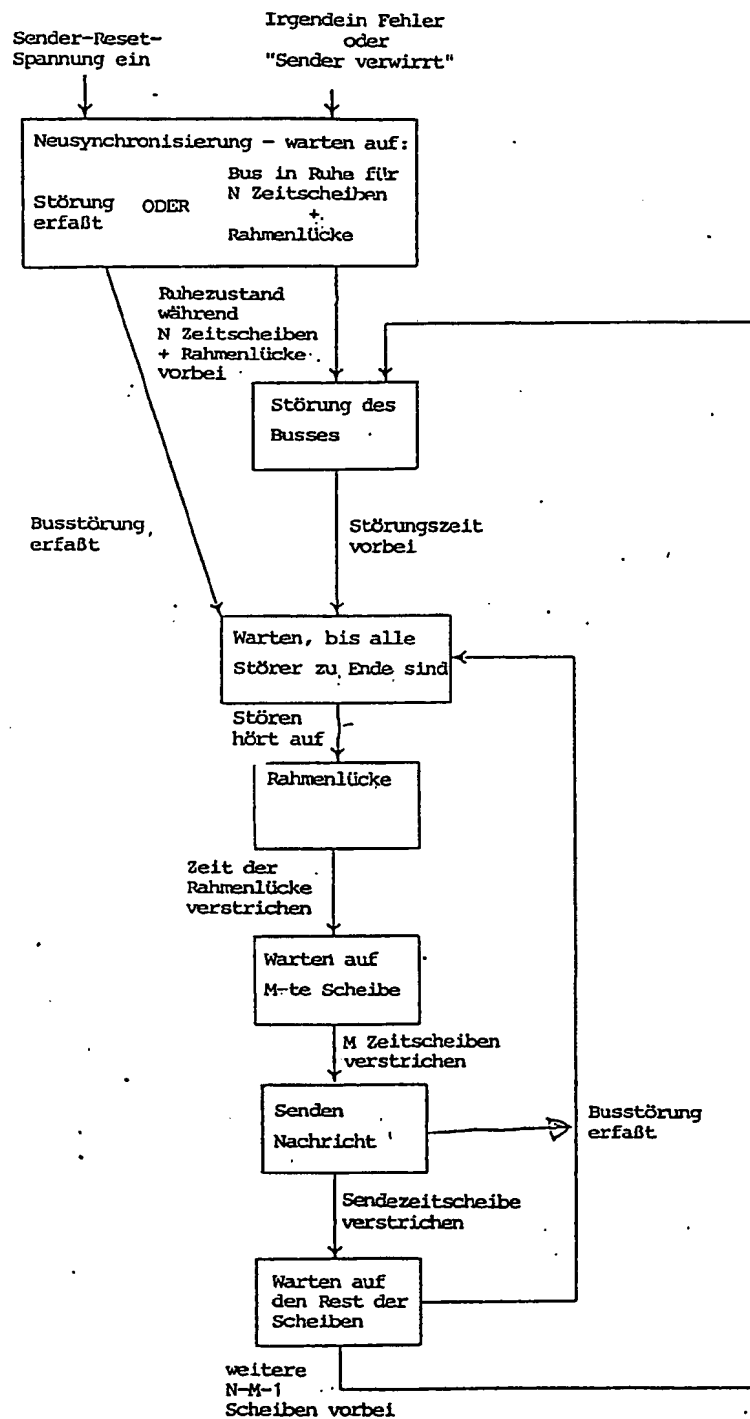


Figur 1

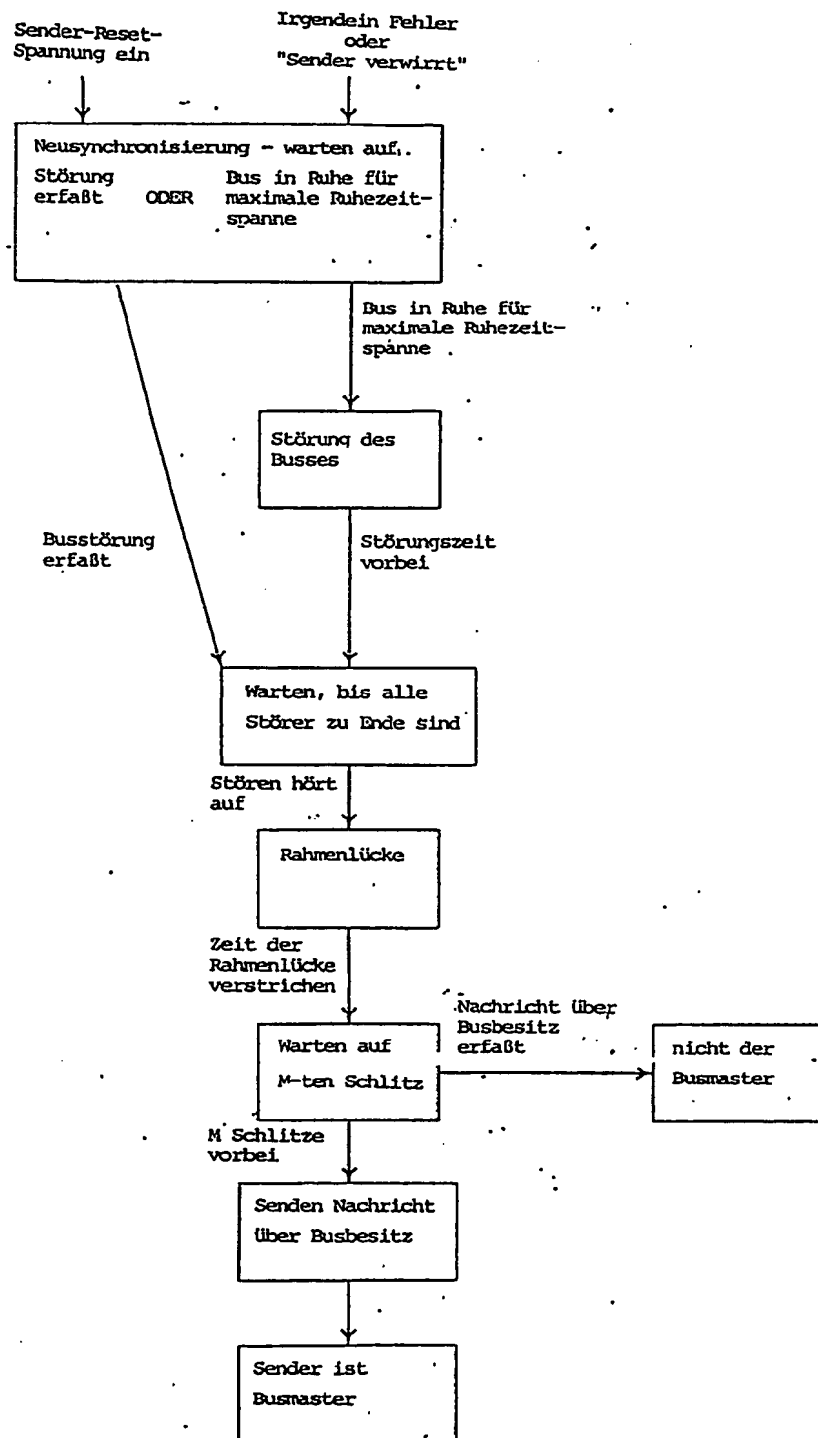
Mehrere Sender und Empfänger, die an ein gemeinsames Kommunikationsmedium gekoppelt sind



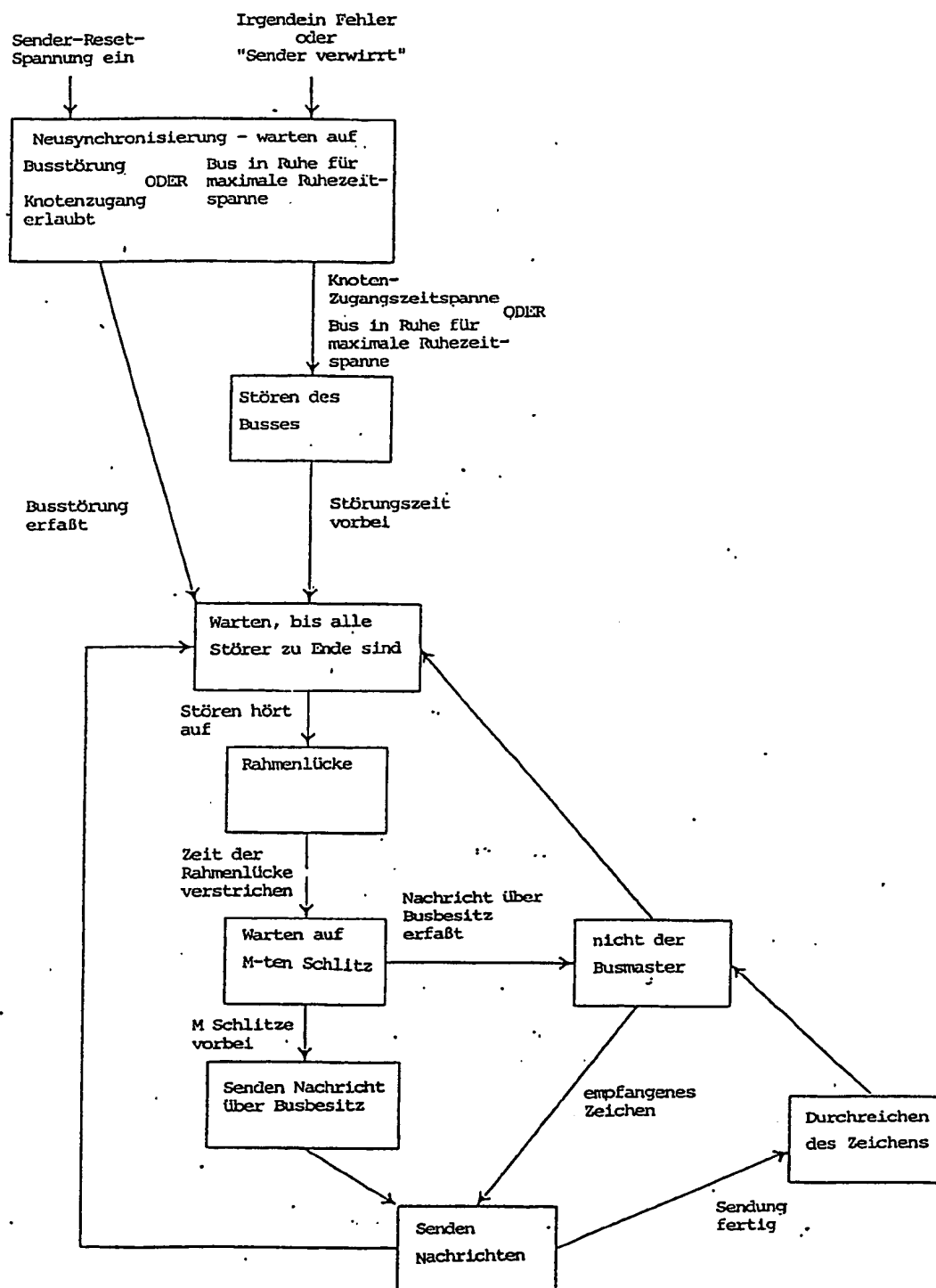
Figur 2
Zustandsdiagramm für die Synchronisation von Mehrfachsendern



Figur 3
Zustandsdiagramm für synchrone TDM-Protokoll

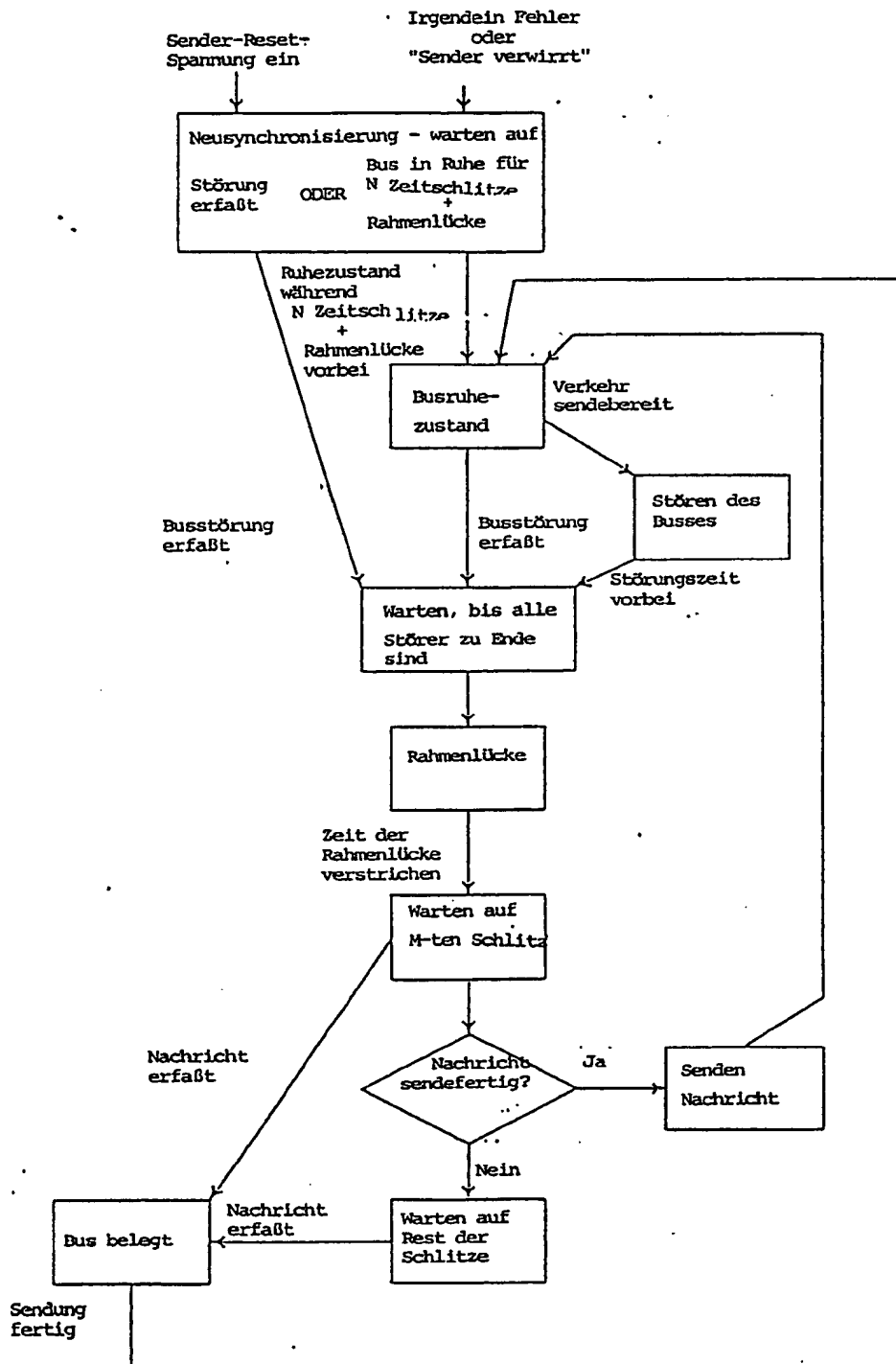


Figur 4
Zustandsdiagramm für Busmasterentscheidung

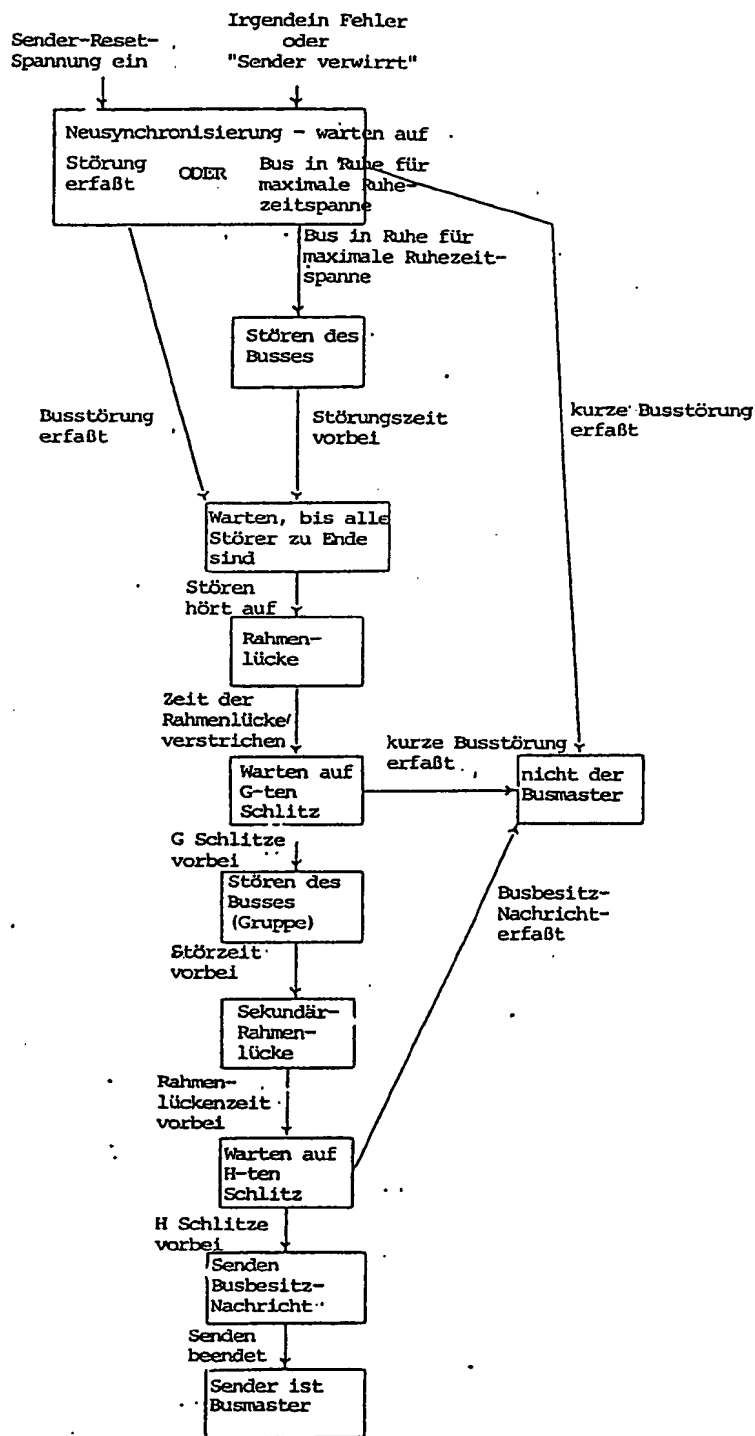


Figur 5

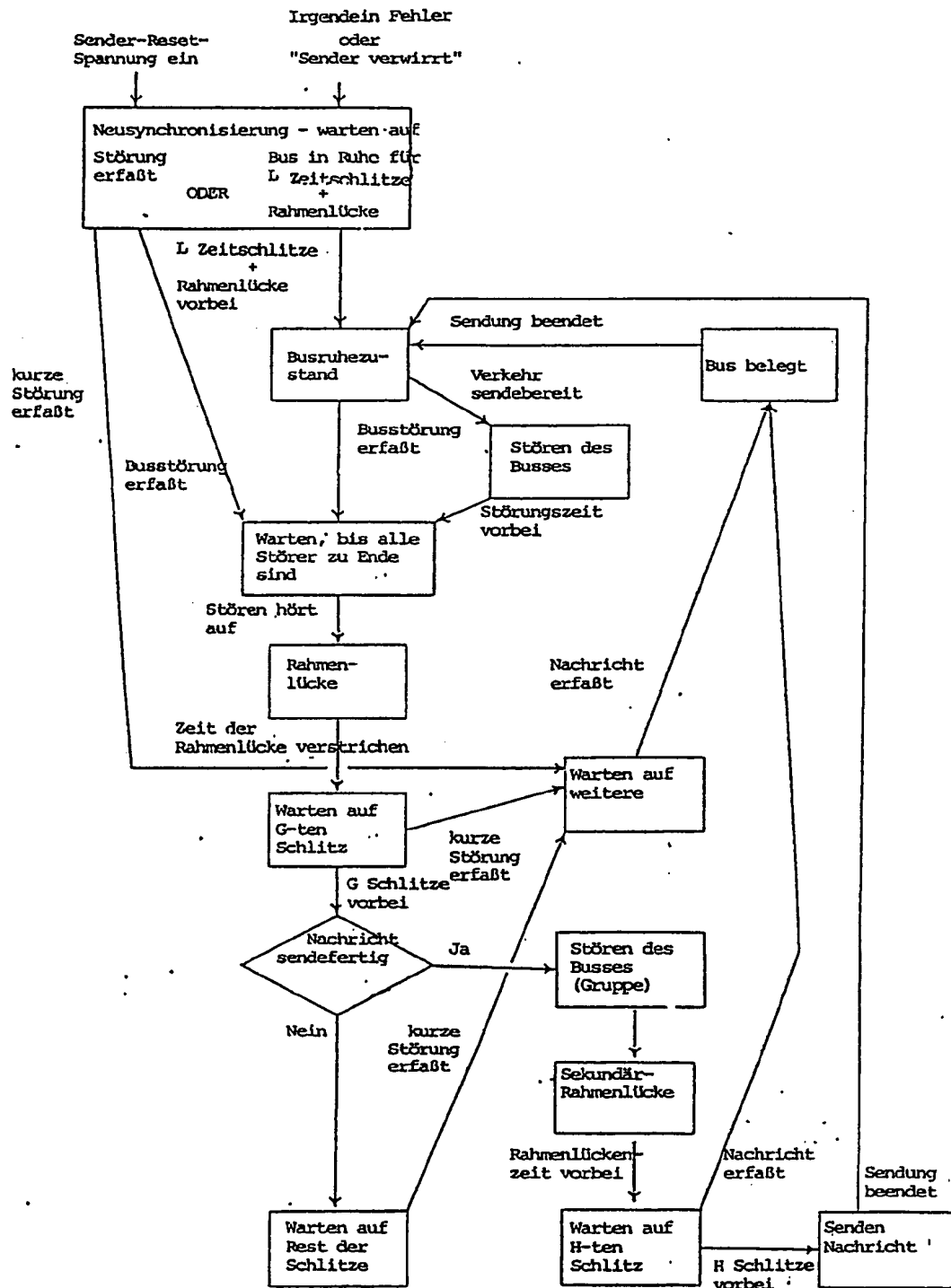
Zustandsdiagramm für Busprotokoll mit expliziten Zeichen



Figur 6
Zustandsdiagramm für Reservations-CSMA-Protokoll mit Neustart pro Nachricht

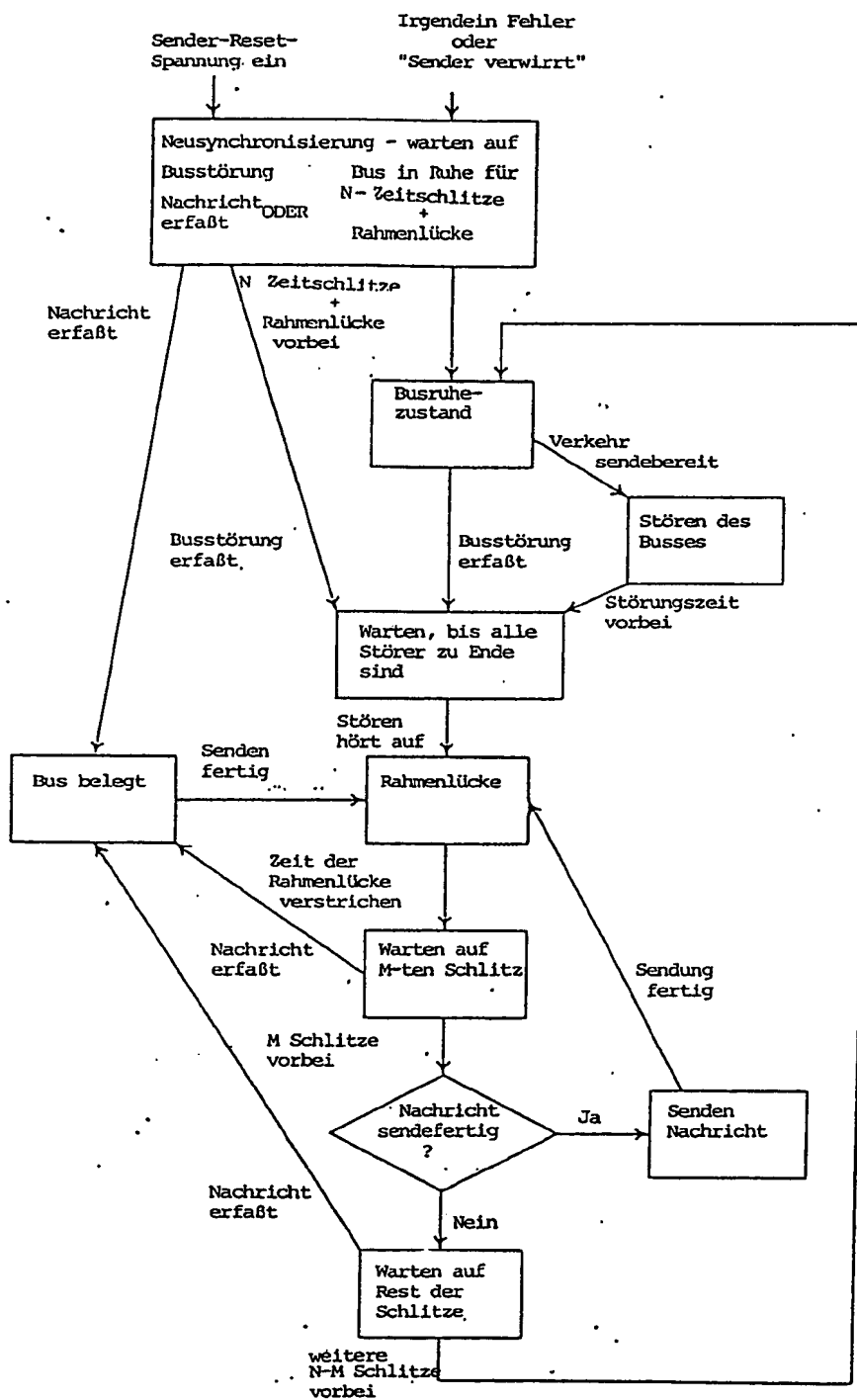


Figur 7
Zustandsdiagramm für mehrstufige Busmaster-Entscheidung



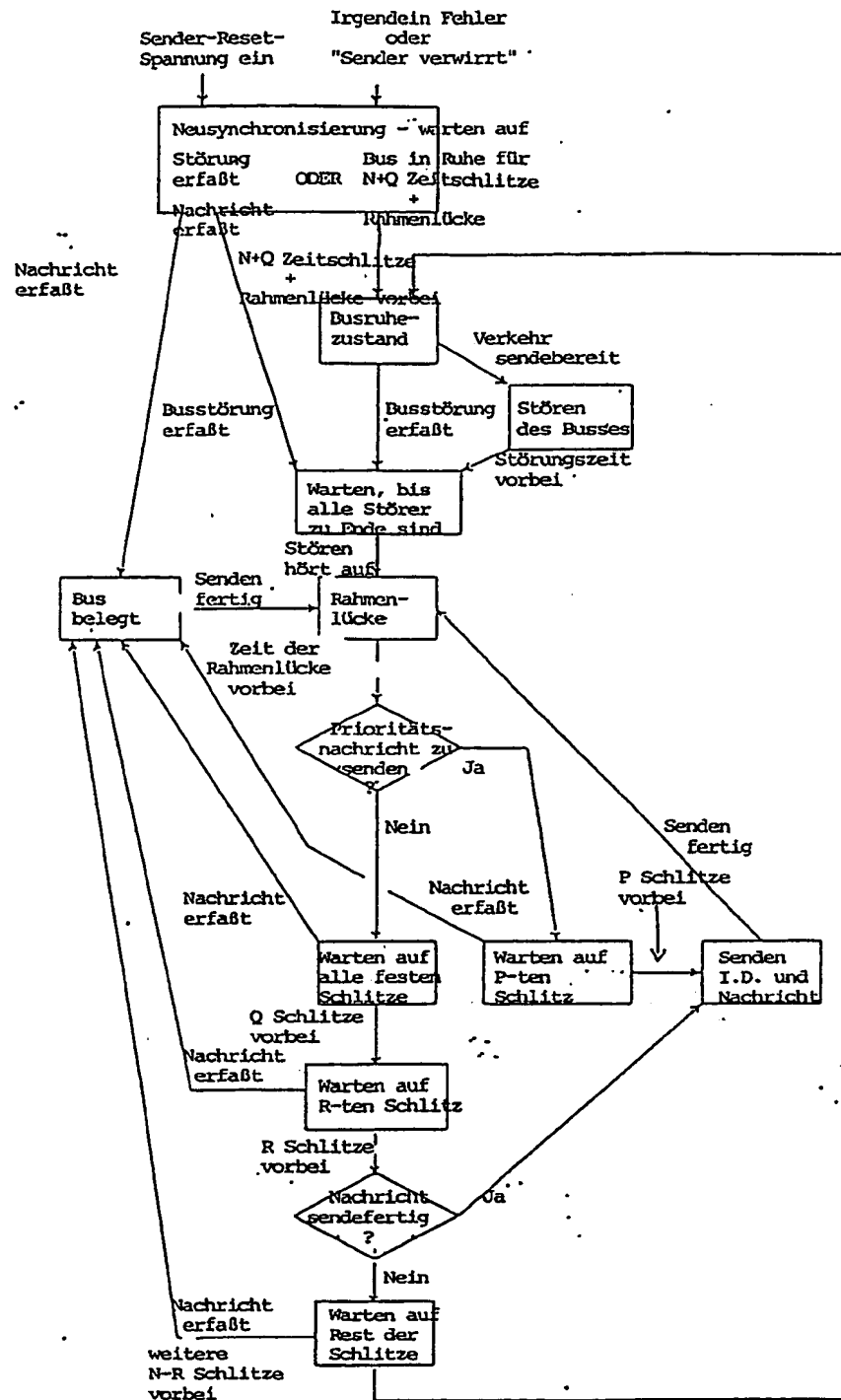
Figur 8

Zustandsdiagramm für RCMA-Protokolle mit mehrstufiger Entscheidung & Neustart pro Nachricht



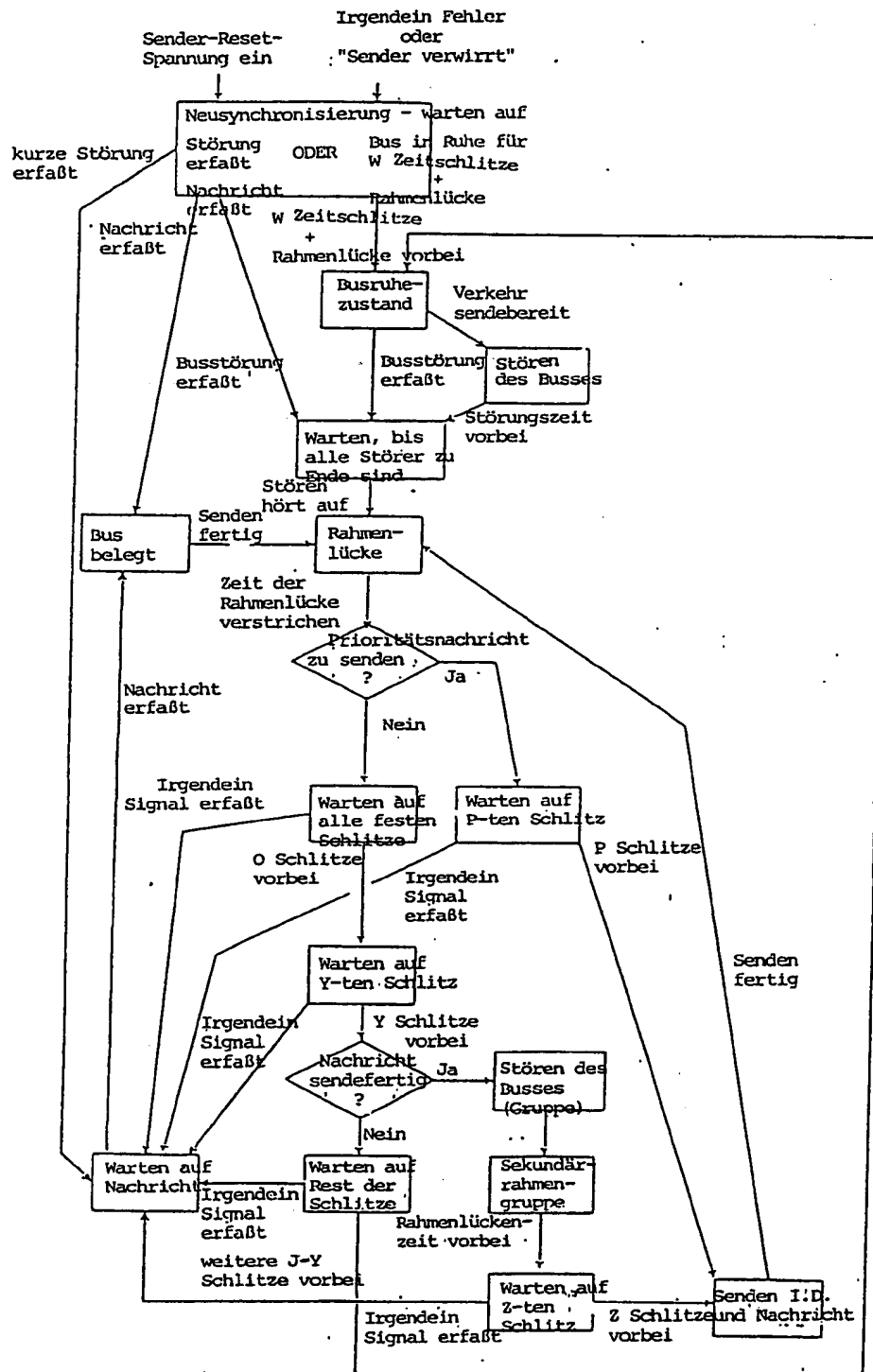
Figur 9

Zustandsdiagramm für RSCMA-Protokoll, das bei starker Belastung Protokoll-Neustarts vermeidet



Figur 10

Zustandsdiagramm für RCSMA Protokoll mit sowohl festen als auch rotierenden Schlitzzen



Figur 11

Zustandsdiagramm für RCSMA-Protokoll mit fester Priorität und mehrstufigen, rotierenden Schlitzzen